

ماذا أعرف

المنشورات العربيّة



Pierre Rousseau

من الذرة إلى النجم

De l'Atome à l'Etoile



ماذا أعرف
٢٤

بيار روسّو

من الذرّة إلى النجم

ترجمة
الدكتور خليل الجرّ

المنشورات العربية

«Que Sais-je» ?
Presses Universitaires de France

المقدمة

عالم فيزيائي في عام ١٨٨٠

في صباح جميل من عام ١٨٨٠ توجّه البروفسور دوران كعادته إلى ثانويّة فونتان . وكان مزن الربيع قد غسل وجه السماء فبدت بأبهى زرقتها ، ولم تجد الشمس الدافئة أيّة صعوبة في اختراق حجاب الأوراق الفتيّة . وكان السيّد دوران يسير بخطى بطيئة على ضفاف السين ، يرافقه تلميذه المفضّل ويتصفّح في صناديق الورّاقين الكتب التي يعلوها الغبار . وكان نهر السين أيضا يجري جذلاً كسولاً بين ضفتين تظلّلهما أشجار الدلب وتحيط بهما المساكن التاريخيّة ، وبقدر ما تستطيع مياهه المدينية أن تحتفظ بصفائها .

وكانت للمياه شفافيّة أجمل أيّامها .

عالم الذّرات والجزئيات

وراح دوران يقول : « أترى يا صديقي هذا المنظر الذي يطيب للمرء أن يتأمّله ؟ إنه صورة العالم الذي يستكشفه العلم . فالعلم هو الشمس الكبرى التي لا تكتفي بتبديد ظلمات جهلنا والكشف عن خفايا الكون بل إنّها

تظهر تناسقه المدهش . ولقد أضاء نور المعرفة حقلاً واسعاً من حقول الطبيعة، حتّى لأستطيع القول، مع شيء من الأسف، بأن الكثيرين يعتقدون أن الفيزياء كادت أن تكتمل . إنه ما تزال بدون شكّ بعض التعرّجات التي تحتاج إلى تقويم وبعض النظريات المفتقرة إلى الربط بينها وبعض الكسور التي ما نزال نفتقر إليها، لكن عهد الاكتشافات الكبرى يبدو أنّه قد انقضى . ومنذ اليوم ننعم بتذوّق الآليّة الدقيقة التي لا ترى للأشياء، بانتظار قدرتنا على تفسير الذكاء والحياة بالطريقة ذاتها، ولا ريب في أن انتظارنا لن يطول .

« فما أدهش ما أحرزناه من تقدّم منذ فجر القرن التاسع عشر !

« أن تكون جميع الأشياء، يدي وهذا الكتاب وحجر هذا الرصيف، متكوّنة من تجمّع أجسام صغيرة تدعى « ذرّات »، أليس هذا افتراض رائع يتّفق اتّفاقاً غريباً مع الخاصيّات الفيزيائيّة والكيميائية للمادّة ؟ والحقّ يقال أن الذرّة ليست حدثاً جديداً . فقبل الميلاد بخمسة قرون كان الفيلسوف اليونانيّ لوكيبّس يعتبر أن جميع الأشياء متألفة من عدد لا يحصى من الجسيمات المتناهية في الصغر المتحرّكة حركة أزليّة . وقد شاطره تلميذه ديموقريطس هذا الرأي كما شاطره إيّاه ابيقورس فيما بعد . ولكن هل من الممكن أن تكون هذه

الآراء آنذاك إلاّ وهماً شعريّاً باطلاً كبطلان موسيقى الأفلاك السماويّة التي تخيّلها فيثاغورس؟

« وبعد ذلك بعشرين قرن كانت الذرّات أمراً مألوفاً. وكان الناس يناقشونها في الصالونات على قول موليير، وكانت بليز تستطيع التصريح بميولها الفاسفيّة المفضّلة:

« أمّا أنا، فمرتاحة للأجسام الصغيرة ... »

« ومع ذلك كان الناس ما يزالون يعتقدون بعناصر أرسطو الأربعة: الماء والهواء والنار والتراب، ما عدا الذين يكتفون بالمبادئ المتميّزة الثلاثة: الكبريت والملح والزئبق.

« فهل نعجب بعد ذلك أن نرى، في القرن التالي، الكيميائي فوركروا يقدّم للمجمع العلميّ مذكّرة يظهر فيها النور والسيّال الحراريّ إلى جانب الأكسيجين والهيدروجين تحت عنوان « الأجسام التي تقترب أكثر ما يكون من الفكرة التي كوّنت عن العناصر والتي تقوم بالدور الأكبر في التركيب الكيميائي » ؟

« والعالم الكيميائي الكبير دالتُن هو الذي فتح أمام الذرّة، في عام ١٨٠٨، باب العلم على مصراعيه. ولا شكّ في أنّه كان يقول في نفسه: « عندما أعد القهوة بالحليب بوسعي أن أضع في الحليب القليل أو الكثير من القهوة: ويكون المزيج على درجات متفاوتة من الدكنة لكنّه يظلّ

قهوة بالحليب . أمّا اذا أردت أن أركّب الغاز الفحميّ فيجب أن أصرف نسبة ١٢ غراماً من الكربون في ٣٢ غراماً من الأكسيجين . وإذا تركت فائضاً من الكربون أو من الأكسيجين فإن هذا الفائض يظلّ بدون استعمال . وهذا يعني بدون أيّ ريب أن ثمّة جسيمات من الكربون تتألف مع جزيئات من الأكسيجين وفاقاً لنسب ثابتة . فلنفترض إذن وجود جزيئات لكلّ جسم، متناهية في الصغر ولا يختلف بعضها عن بعضها الآخر ولنحيٍ تحت هذا الشكل الجديد ذرّة الأقدمين الواحدة التي لا تتجزّأ ... »

وتابع دوران قوله : « وهكذا نتصوّر في الوقت الحاضر مادّة جميع الأجسام البسيطة — كالكربون والأكسيجين والحديد والهيدروجين والأزوت وغيرها — مؤلّفة من عدد كبير من الذرّات . وأنواع هذه الذرّات تبلغ عدد أنواع الأجسام البسيطة ولا تشبه ذرّة الحديد ذرّة الهيدروجين أكثر ممّا يشبه إسبانيّ يابانياً . ونحن نعرف في عام ١٨٨٠، ٨٠ جسماً من هذه الأجسام البسيطة، وكل واحد منها ينتمي إلى نوع خاصّ من الذرّات وتستطيع هذه الأنواع المختلفة التزاوج : فبإمكان ذرّة كربون أن تتزوّج من ذرّتي أكسيجين ويلد من هذا الزواج جزيء من الغاز الفحميّ . وإذا ما اجتمعت ذرّة من الاكسيجين مع ذرّتين من الهيدروجين ينشأ عن ذلك جزيء من الماء . وهكذا تتوصّل عناصرنا الثمانون إلى تكوين جميع الأجسام الموجودة وتبدو جزيئاتها لا كأجناس بل

كجماعات تضمّ أجناساً مختلفة . وأنواع الذرّات الثمانون، إن شئت، أشبه ما يكون بأحرف الكتابة الستّة والعشرين : فالذرّات تؤلّف جميع الموادّ المعروفة كما تؤلّف الأحرف جميع كلمات لغتنا .

« وقد ترغب الآن في معرفة أحجام هذه الذرّات . فلو قلت لك إننا نعتبر الذرّة شيئاً يقرب قطرهُ من جزء من عشرة ملايين جزء من المليمتر قد لا يكون لذلك من معنى بالنسبة إليك . ولكن ألقِ نظرة على هذه القطعة النقديّة : إننا نستطيع أن نضع على سماكة حرفها عشرة ملايين ذرّة جنباً إلى جنب، ويحوي كشتبان مملوء هواء ٢٥ مليار مليار ذرّة ... ولعلّك عندما أذكر لك المليارات لا تستطيع تقدير ضخامة هذا العدد . فتصوّر أن أحد أجدادك كان يملك في السنة الأولى من التاريخ الميلاديّ ٢٥ مليار مليار من الفرنكات . فلو أنفقها بمعدّل ٤٠٨ ملايين فرنك في الثانية لما نفدت إلاّ بعد ٦١ سنة في عام ١٩٤١ ! ولو وضعنا هذا العدد من الذرّات جنباً إلى جنب لكانت لنا سلسلة تحيط بالأرض على ٦٠ دوراً !

« فلا يصعب عليك والحالة هذه أن تتصور أن أجساماً على هذه الدرجة من الصغر لا يمكن رؤيتها بواسطة أقوى الجاهر فمجاهرنا لا تمكّن من رؤية أجسام يتعدى قطرها ٢/١٠٠٠٠ من المليمتر والواقع ان ٢/١٠٠٠٠ من المليمتر حجم هائل بالنسبة إلى الذرّة . وإذا تصورنا أن

الذرّة بحجم البرغوث فأصغر ما يمكّن المجهر من رؤيته يبلغ حجم كلب الرعاة » .

ثم توقّف السيّد دوران عن الكلام وألقى على تلميذه نظرة ملؤها الريبة وتابع قائلاً : « ومع ذلك فلا يحمسنّك ما سمعت . فالذرّات تساعدنا على فهم قوانين الفيزياء والكيمياء، لكننا لا نعرف شيئاً عنها، ولم يرَ أحد ذرّة ولن يراها . لذلك يرفض بعض كبار العلماء مثل مرسلان برتلو وسانت كلير دِفيلّ حتى التسليم بإمكان وجودها . وهم يقولون : إن جميع هذه الذرّات شيء رائع ، لكنّ أوغست كونت علّمنا أن نقف موقف الحذر من الافتراضات . والشيء الوحيد الذي له قيمة في نظرنا هو الاختبار . وعندما تستطيع أن تبرهن لنا عن وجود ذرّاتك هذه يصبح لكل حادث حديث » .
ولما كانت النظريّة الذريّة المسكينة قد تعرّضت لنقد كبار العلماء آنذاك فلم يقدّر لها التقدّم . والعالمان اللذان ناصراها في فرنسا، وهما أوغست لوران وشارل جيرهارت قضيا نحبهما في عامي ١٨٥٣ و١٨٥٦ ولم يبلغا سنّ الخمسين وقد انهكهما العمل والخيبة، وفي هذه السنة بالذات، سنة ١٨٨٠ لم تحصل الذرّات بعد على حق الدخول في دروس ثانويّاتنا .

ومع ذلك ما أدهش ما تؤمّنه لنا من بناء تركيبيّ ! فالتحام بعضها إلى بعضها الآخر يبني الجزيئات وهذه بدورها تشكّل جيش الأجسام المركّبة التي تتزايد يوماً بعد يوم . والغاز ؟

ليس الغاز إلا ثول نحل كلّ نحلة منها جزيء يدور على ذاته ويطير في الآن ذاته بملء جناحيه. والسائل؟ ليس السائل إلا جسماً تقاربت جزيئاته حتى تماسّت ودار بعضها حول بعضها الآخر كما تدور الكريّات في كيس، كما لو كان الثول قد تجمّع في كتلة متحرّكة. والجسم الصلب؟ هنا التحم نحل الثول وأصبح عاجزاً عن الحركة؛ وعلى الذرّات والجزيئات فيه أن تكتفي بالاهتزاز دون أن تنتقل كإنسان ينتظر في موعد ويركل الارض برجله. وهكذا يتموّج في الحقل قمح ثبتت عروقه في الأرض وموّجت الريح سنابله».

المستقبل للميكانيكا!

وبينما كان السيّد دوران وتلميذه اللذان كانت الأشجار تنثر عليهما بحبور زغب براعمها يمرّان أمام «المعهد» الذي كانت قبّته الوقورة تلمع تحت أشعة الشمس تابع السيّد دوران كلامه قائلاً:

«وهذه الذرّات، وهي المركّبات القصوى للمادّة أزليّة لا تتجزّأ ولا تفنى. وقد أعطى لافوازيه قوانينها حين قال: «لا شيء ينشأ ولا شيء يُفقد». وهي تجوب الكون، تلتحم تارة بهذا وتارة بذاك. وكانت هذه الذرّة من الأكسيجين مقترنة بالأمس بذرّة من الكربون لتشكّل جزيئاً من أكسيد الكربون، ففارقتها لتلتحق بالهيدروجين وتتحوّل معه إلى ماء.

وسيقع الماء غداً على قطعة من الحديد فتكوّن ذرّة الأكسيجين مع هذا المعدن أكسيد الحديد أي الصدأ . فالكون بذرّاته التي تمرّ وتعيد الكرّة بلا هوادة مختبئة تحت أقنعة مختلفة يشبه مسرح الشاتله حيث يعود الأشخاص ذاتهم إلى الظهور في استعراض عسكريّ كبير .

« والطاقة أيضاً تظلّ ثابتة خلال العصور ، وهي اليوم حرارة فتصبح غداً حركة تتلاشى أخيراً من جرّاء الاحتكاكات العديدة . ولا تملك الطبيعة إلاّ قدراً محدوداً من الطاقة تتناقلها الذرّات كما لو كان الممثّلون الصامتون على مسرح الشاتله يتناقلون كرة أسمها « طاقة » . ويبدو الكون هكذا كآلة هائلة خاضعة للميكانيكا الكليّة القدرة . ونحن نعتبر أدمغة فيكتور هوغو وشوفرول وغونو كآلات أخرى ، أكثر تعقيداً منها بدون شك ، لكننا ستمكّن يوماً من تفكيكها .

« ولكن لا بدّ من الإقرار بأنّ ثمّة أموراً تثير اضطرابنا . فقد فكّر الفيزيائي الألماني هيتّورف عام ١٨٦٩ بأن يفرّغ شحنة كهربائية في أنبوب زجاجي فيه غاز متخلخل ، وقد أعاد وليم كروكس الإختبار ذاته في العام المنصرم أمام « الاتّحاد البريطانيّ » (شكل ١) . وقد حدثت في هذا الأنبوب ظاهرة غريبة : انطلقت من أحد اللاحبين ، وهو اللاحب المهبطيّ أشعّة اصطدمت بالجدار المقابل فأضاءته بنور لصفيّ . فإذا أدنينا منه مغناطيسياً تتحوّل الأشعّة . وقد افترض

اشعة سينية
إلكترونات
القطب السالب
القطب الموجب

الشكل ١ . – اختبار كروكس

السيّد كروكس أن الغاز المتخلخل الموجود في الأنبوب يضطرب تحت تأثير الكهرباء ويصبح في حالة خاصّة تختلف كل الاختلاف عن الحالات العاديّة للمادّة ، الحالة الغازيّة والحالة الصلدة والحالة السائلة . وقد سمّى هذه الحالة الرابعة « مشعّة » ، وكان مواطنه فارادى قد استشفّها حوالي عام ١٨٢٠ . ولست بعيداً عن الاعتقاد بأن الفيزياء لم تكتمل بعد وأنّها لم تكتشف بعد كلّ شيء ، وأن الطبيعة ما تزال تحتوي على مناطق لم تستكشف بعد إذا ما تأملت ما قاله كروكس نفسه من أنّ « في دراسة هذه الحالة الرابعة للمادّة يبدو أنّنا أخضعنا لسلطاننا الجسيمات الصغيرة الّتي لا تتجزّأ والّتي نعتبرها لاسباب وجيهة الأساس المادّيّ للكون ... وقد بلغنا الحدّ الذي يبدو فيه أن المادّة والطاقة تختلطان ، وهو حقل غامض كائن بين المعلوم والمجهول ... » .

هكذا تكلّم السيّد دوران أستاذ الفيزياء في ثانويّة فونتان في صباح فتّان من عام ١٨٨٠ .

الفصل الأوّل

نظرة شاملة إلى ذرّة اليوم

لقد عقب العالم الهادئ في عصر السيّد دوران ، الواثق من معلوماته، بعد ستّ وثمانين سنة، عالم يختلف عنه كلّ الاختلاف . فـ « الثابتات » المطلقة التي كانت بالأمس لا تمسّ، كالحقيقة والعدالة والجمال، حلّت محلّها مفاهيم نسبيّة معرّضة للنقد؛ وما كان بطلنا يسمّيه بسذاجة «الفيزياء»، لا يبدو لمن جاء بعده في هذا الثلث الأخير من القرن العشرين، إلاّ مجرّد مدخل للفيزياء أوسع منها بكثير تطبّق في آن واحد على الذرّة وعلى النجم، وقد بدأوا منذ زمن قريب يحيطون بخطوطها الكبرى .

لقد عاش السيّد دوران في آخر عهد من عهود العلم وقبل أن يبرز فجر العهد التالي . وكانت الحقائق التي يعلّمها حصيلة قرنين أو ثلاثة قرون من المعرفة الاختباريّة والعقلانيّة . فكيف كان بوسعه أن يتنبّأ بأن هذه الحقائق ستعصف بها عاصفة هوجاء، وأنّ كثيراً من المعارف التي كانت تعتبر نهائيّة سيعاد النظر فيها وأن اكتشاف العالم الذرّيّ والنووي سيضيف جناحاً هائلا إلى قصر الفيزياء الكلاسيكية ؟

١ . ظهور الإلكترون

وقد ظهرت بوادر العاصفة في عام ١٨٩٧ . ولم يكن وجود الذرّة آنذاك يترك مجالاً للشكّ، وكان جميع علماء الفيزياء متفقين على أنّها تشكل المرحلة النهائيّة لتجزيء المادّة. « والنتيجة النهائية، كما كانوا يقولون في أنفسهم، هي أنّ كل جسم يتألّف من جسيمات لا متناهية في الصغر هي الذرّات التي لا يوجد بعدها شيء » .

والحال أنّه في تلك السنة، أي سنة ١٨٩٧ كان الفيزيائي الانجليزيّ ج. ج تومسُن يقوم باختبار بواسطة انبوب كروكس ويدرس فيه الإشعاع المهبطي، فراح يتساءل عن الطبيعة الحقيقيّة لهذا الإشعاع : أهو مؤلّف من موجات (كما هي حال النور) أم من جسيمات لا متناهية في الصغر تقذف كما تقذف حبّات الرمل ؟ وكانت الاختبارات حاسمة، وبيّن تومسن أن الافتراض الثاني هو الصحيح، وأتمّ جان پيرّان في باريس هذا البرهان فأثبت أن الإشعاع المهبطي يتألّف في الواقع من جسيمات هي أصغر من الذرّات، وليس قوامها المادّة بل الكهرباء السالبة .

وكان هذا الاكتشاف غنيّاً في نتائجه : فلم تفقد الذرّة معناها التقليدي واعتبارها أصغر جسم معروف وحسب بل أصبح على العلماء أن يعدلوا عن اعتبار الكهرباء ذلك « السائل

الذي تصوّره مكسول بل يعتبروها طوافاً أو دفقاً من هذه الجسيمات الصغيرة التي أطلقوا عليها اسم « إلكترونات » .

وبفضل القياسات التي أجراها كثير من العلماء، بدا الإلكترون حبّة من الكهرباء تشكل كتلته جزءاً من ١٨٣٦ جزءاً من كتلة أخف الذرّات (وهي ذرّة الهيدروجين) وتحمل شحنة من الكهرباء هي من الصغر بحيث نحتاج إلى سيل ٦٠٠٠ مليار من هذه الألكترونات لاحداث تيّار من ميكروأمبير واحد .

٢ . رثفورد يكشف النقاب عن الذرّة السيّارة

لقد أوقع اكتشاف الذرّة آنذاك الكثيرين من علماء الفيزياء في حيرة من أمرها . إنّهم كانوا قد تعوّدوا اعتبار الذرّة الساكن الوحيد لعالم اللامتناهي في الصغر وها هم يكتشفون رفيقاً لها . فأين يضعون هذا الرفيق ؟ أفهل كان عليهم أن يعتبروا المادّة مؤلّفة في أساسها من ذرّات ومن إلكترونات، أو بالأحرى، ما دام الإلكترون أصغر من الذرّة بكثير، عليهم أن يعتبروه جزءاً مكوّناً من أجزائها ؟ ولكن، في هذه الحالة، ما دامت كهربائية الإلكترون سالبة كيف يمكن تفسير كون الذرّة تبدو في الاختبار محايدة؟ وهذا لا يكون ممكناً إلاّ إذا كانت تحتوي، إلى جانب الإلكترونات، على جزء كهربيّة موجبة يعيد حياد المجموع .

وقد اقترح ج. ج. تومسن أن تُتصوّر الذرّة بشكل كرة صغيرة جوفاء محشوّة إيجابيّاً وتوجد الإلكترونات في داخلها كما توجد البزور في داخل التفّاحة. أمّا تلميذه القديم، رثفورد العظيم، ففضّل تصوّرها كنظام شمسيّ مصغّر. وسيّارات هذا النظام هي الإلكترونات، وشمسه جسيم مشحون بكميّة من الكهرباء الموجبة بقدر ما هو ضروري للتوازن مع الشحنة الكاملة للإلكترونات.

وافتراض رثفورد، كما هو معلوم، هو الذي حظي بموافقة العلماء بعد أن أيّدته اختبارات أساسيّة. وهكذا تكوّنت صورة الذرّة التي طبّقت عام ١٩١٢ وظلّت مطبّقة ما يقرب من خمس عشرة سنة. تلك كانت صورة « الذرّة السيّاريّة » التي يبدو فيها كلّ جسم بسيط مؤلّفاً من ذرّات متشابهة تتكوّن كلّها من عدد واحد من الإلكترونات التي تدور حول نواتها. وتحمل هذه النواة شحنة تعادل شحنة سيّاراتها وتحمل علامة تعاكس علامتها.

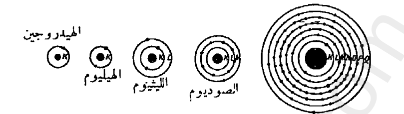
٣ . دور الإلكترونات في الذرّة

لقد انقضى الزمان الذي كان برناردان ده سان بيار يفسّر فيه سواد البرغوث بسهولة القبض عليه إذا قفز على قماش أبيض وتقسيم الطبيعة للبطّيخ إلى قطع ليؤكل في العيلة. ومع ذلك، نستطيع أن نتساءل عن فائدة الإلكترونات دون أن نتّهم بالغائيّة. وإذا لاحظنا أن كتلة الذرّة بمجملها

تقريباً موجودة في النواة نستطيع أن نستنتج من ذلك أنّ الإلكترونات تكوّن أعضاء حشويّة لا يُعتدّ بها .

غير أن الأمر على عكس ذلك . فالإلكترونات هي التي تعطي المادّة أكثر خواصّها الفيزيائيّة والكيميائيّة، وعددها هو الذي يمكّن في الدرجة الأولى من معرفة طبيعة جسم ما، وإذا كان من الهيدروجين أو من الحديد أو من الاورانيوم .

ونحن نذكر أنّ الأجسام البسيطة الطبيعيّة ٩٢ جسماً كما نذكر أن كلّ جسم منها يحتوي في ذرّته على عدد ثابت من الإلكترونات . فلا يحوي الهيدروجين إلاّ إلكتروناً واحداً بينما يحوى الهيليوم إلكترونين والليثيوم ثلاثة والبيريليوم أربعة، وهلمّ جرّاً حتّى الاورانيوم الذي يحوي ٩٢ إلكتروناً . ويمكننا تصوّر هذه الإلكترونات تدور حول نويّاها على مدارات معيّنة . فليس لكلّ من ذرّتي الهيدروجين والهيليوم مثلاً إلا مدار واحد . وللذرّة الليثيوم مداران يحمل أقربهما من النواة ثلاثة الكترونات . وتحيط بالاورانيوم ٧ مدارات يحمل أولها (وهو أقربها من النواة) الكترونين والثاني ٨ الكترونات والثالث ١٨ الكتروناً والرابع ٣٢ الكترونا والخامس ١٨ الكتروناً والسادس ١٢ الكتروناً والسابع الكترونين (شكل ٢) .



الشكل ٢. — تكوين الذرّات الالكتروني

تتوزّع الإلكترونات حول النواة على ثلاث طبقات تدعى
Q, P, O, N, M, L, K

٤ . البنية التشريحيّة للجزئيّات

إن أقرب الإلكترونات إلى النواة أكثرها تعلّقاً بها، كما يتوقّع ذلك عن طريق الحدس، وأبعدها عنها أقلّها تعلّقاً بها. لذلك كثيراً ما يحدث عند التقاء ذرّتين أن تنتزع أحداهما من الأخرى أحد الكتروناتها الخارجيّة. فمثلا عندما تمرّ ذرّة من الأكسيجين على قرب كاف من ذرّتين من الهيدروجين لا يمكن تحاشي الحادث: فتنتزع ذرّة الأكسيجين عمداً إلكترونين من ذرّتي الهيدروجين تظلاّن ملتصقتين بها. وهكذا تحصل مجموعة من ثلاث ذرّات تدعى «جزيئاً» وهو، في هذه الحالة الخاصّة ليس بكلّ بساطة سوى جزيء ماء (يد ٢ أ). ونفسّر بالطريقة ذاتها الإلكترون الخارجيّ من ذرّة الصوديوم الذي يمكن أن يقع أسيراً لذرّة من الكلور بحيث أنّ الذرّتين بعد التحامهما تكوّنان جزيئاً من كلورور

الصوديوم أي الملح . وهكذا نستنتج من ذلك أن الإلكترونات هي التي تحدّد الخواصّ الكيميائيّة للأجسام والتفاوت في تجاذبها المتبادل ، وتركيباتها وبناء الجزيئات . وهي أيضاً التي تفسّر الخواصّ الفيزيائيّة ، كما سنرى عمّا قريب ، والسبب الذي من أجله يكون هذا الجسم موصلاً للكهرباء أو للحرارة ويكون غيره غير موصل . لماذا هذا الجسم يشعّ نوراً ويشعّ ذاك الجسم أشعّة مجهولة . ولكننا قبل ذلك نقول كلمة عن بنية الجزيئات . لأنّنا إذا كنّا قد تصوّرنا الذرّة بشكل نظام شمسيّ ، نستطيع أن نتساءل الآن كيف يمكن أن يبدو لنا النظام الجزيئيّ .

والجواب هو هذا : أنّه يستطيع أن يبدو لنا تحت أشكال مختلفة كلّ الاختلاف . فتركّب الذرّات الثلاث لجزيء الماء بشكل مثلّث متساوي الساقين طول قاعدته (التي يتألّف كل من طرفيها من ذرّة هيدروجين) ١/١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ مليّمتر وتساوي زاويته المقابلة لهذه القاعدة ١٠٥° . أمّا جزيء غاز الأمونياك (المؤلّف من ذرّة ازوت و٣ ذرّات هيدروجين) فله شكل هرميّ . وتتخذ جزيئات اخرى شكل كرة او شكل عصيّة أو شكل سلسلة . ومهما يكن من أمر فهي بطبيعة الحال أكبر من الذرّات . فحجم أصغر الجزيئات يبلغ ثلاثة أضعاف حجم الذرّة . أمّا أكبرها — وهي معروفة في الكيمياء العضويّة — فقد تبلغ حجماً يمكن رؤيته تحت المجهر الإلكتروني الذي كثيراً ما يكبّر ١٠٠ ٠٠٠ مرّة .

٥ . كيف تبثّ الذرّة إشعاعها

لقد سبق لنا أن طرحنا هذا السؤال : ما هي فائدة الإلكترونات في الذرّة ؟ وهلاّ نتساءل الآن ما هي فائدة الذرّة ؟ سؤال مفرط في بساطته يجيب عنه كل إنسان بقوله : إنّ فائدتها هي في تكوين المادّة . ومع ذلك يجدر بنا آن نوضح مفهوم المادة هذا الذي يتبادر إلى الذهن بصورة طبيعيّة وأن نتعمّق فيه .

لأن المادّة ، حتى المعدنيّة منها ليست ، بالرغم من الظواهر ، شيئاً جامداً لا يتغيّر . فيمكن أن تكون لها ، وفي الواقع لها دائماً حرارة معيّنة . فقد تكون حارّة أو باردة ، مشحونة بالكهرباء أو غير مشحونة وقد تتمتّع بصفات خاصّة كالمغناطيسيّة أو التوصيليّة الفوقية أو غير ذلك . فيحقّ لنا والحالة هذه أن نتساءل كيف أن الذرّة يمكن أن تكون مقرّاً لظاهرات مختلفة إلى هذا الحدّ وبأيّة واسطة يستطيع هذا النظام الشمسيّ المصغّر أن يحدثها .

إننا نعرف ذلك منذ أن جاء الفيزيائي الدانمركيّ الكبير نيلزبور عام ١٩١٣ بنظريّة الكمّات .

فقد برهن نيلز بور أن الشبه بين النظام الذرّي ونظام السيّارات ظاهر أكثر مما هو حقيقيّ . فالسيّار مثبت في مداره ولم يشاهد قطّ سيّار ينتقل من مدار إلى آخر ، أمّا في إلكترونات

الذرّة فكثيراً ما يحدث انتقال من هذا النوع . فلنتصوّر مثلاً ذرّة من الهيدروجين ، أي نظاماً مؤلّفاً من نواة ومن إلكترون واحد . وقد يحدث أن يتشوّش هذا النظام فجأة . فإذا افرغنا شحنة كهربائية في أنبوب يحتوي غاز الهيدروجين تحت ضغط خفيف تستطيع الصدمة التي يتلقّاها الكترون كل ذرّة أن تنتزعه موقّتاً من مداره وتقذف به إلى مدار أوسع . وقلنا « مؤقتاً » لان الإلكترون يعود ، بعد زوال أثر الصدمة ، إلى مداره الأوّل . لكنّ هذه العودة إلى وضعه السابق تأتي بنتيجة أساسيّة : فعلى الإلكترون عند هبوطه أن يتخلّص من فائض الطاقة التي حصل عليها ارتفاعه ، وذلك ببثّه إشعاعاً يسمّى « كمّاً طاقيّاً » .

قد تبدو هذه الظاهرة معقّدة لكنّها تتمثّل ماديّاً بشكل لا يجهله أحد : فعندما تخضع ذرّات الهيدروجين المنخفضة الضغط في أنبوب لتفريغات كهربائية ، تظهر ربوات من هبّات الإشعاع التي تفضي إليها بهلوانيّة الإلكترونات بمظهر نور احمر جميل . وليس هذا النور سوى الإضاءة المعروفة في بعض الإعلانات .

٦ . الذرّة تخضع لنظريات الكمّات

ولنتذكّر الآن أن الذرّة عندما تحيط بها إلكترونات عدّة لا تتعلّق جميعها بالنواة بالقوّة ذاتها وأن أبعدها هي أكثرها استعداداً للانعتاق . فينجم عن ذلك أن الذرّة عندما تُثار ، أي

عندما يقذف إلكترون أو أكثر من الكترونانها على مدارات بعيدة، لا تكون الطاقة الكميّة التي تنعتق منها واحدة لجميعها. وبقدر ما يكون البعد بين المدار الأصلي ومدار الإثارة شاسعاً، بقدر ذلك يكون الكم كبيراً. وهذا قد يبدو أيضاً غاية في التجريد، لكنّنا نعود فوزاً إلى الواقع إذا ما تذكّرنا أن هذا الكم ليس سوى اشعاع بحيث أن القفزة بقدر ما تكون كبيرة بقدر ذلك يكون الإشعاع مشحوناً بالطاقة، أي بقدر ذلك يكون التواتر مرتفعاً. وهكذا يُفسّر كون الذرّة، وفاقاً لدرجة إثارتها، تبثّ إمّا إشعاعاً ذا طاقة منخفضة، وبالتالي ذا تواتر منخفض — أو، إذا شئنا، دفق نور تحت الأحمر — أو إشعاعاً ذا طاقة مرتفعة، كدفق نور مرئيّ أو تحت البنفسجيّ أو أشعّة سينيّة (أنظر ص ٦٤). ونستطيع اللجوء إلى صورة ليست بهذا القدر من التجريد وتصور دفق النور حبّة حقيقيّة من الإشعاع، أو «فوتوناً» كما سمّاه اينشتاين.

وليس هذا التفسير اللبق إلاّ «نظريّة الكمّات» التي يعود الفضل فيها إلى الفيزيائي الألمانيّ الشهير پلانك. وهذه النظريّة هي التي لجأ إليها نيلزبور عندما أراد أن يفسّر كيف أن ذرّة رثفورد السيّاريّة تولّد الإشعاع.

٧ . الذرّة تخضع أيضاً للميكانيكا التموّجيّة

تبدو لنا الذرّة الآن بشكل أوضح وتعقيد متزايد. ولم تعد قطعة من المادّة، بل آليّة صغيرة حقيقيّة تنتج وفقاً للظروف

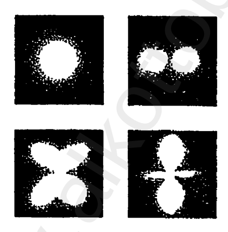
حرارة أو نوراً أو أشعّة تحتبنفسجيّة أو أشعّة سينيّة . ونصرّح لقرّائنا الذين يجدون هذه الآليّة كثيرة التعقيد بأنّه لا تزال أمامهم صعوبات جمّة : فهذا هو نموذج الذرّة كما كانت معروفة حوالى عام ١٩٢٥، وعلينا أن ننتقل الآن إلى الذرّة « العصريّة » التي ليس فهمها على هذا القدر من البساطة .

وتكون نقطة انطلاقنا فكرة بسيطة يمليها علينا العقل السليم. لقد صوّرنا النظام الذرّيّ حتى الآن كنظام مسطّح شبيه بالنظام الشمسيّ . ولكن ليس من داع يحمل الذرّة على أن تكون محدودة ببعدين، ويبدو منطقيّاً أن تكون أقرب شبه بالكرة منها بالدائرة . وإذا صحّ هذا لا تكون المدارات الإلكترونيّة دوائر بل سطوحاً كرويّة، أو نوعاً من القوقعات أو « الطبقات » منضّدة كما يقال . وهذا لا يجعل بث الإشعاع أكثر صعوبة في الفهم لأنّه يكفي أن نستبدل القفز بين مدارين بالقفز بين طبقتين .

صحيح أن القارئ يفكّر بأن القول بوجود الإلكترون على طبقة أكثر غموضاً من القول بأنّه يدور على مدار معيّن . فعلى أيّة طبقة وفي أيّة نقطة من هذه الطبقة يمكن العثور عليه ؟ والواقع أن الفيزيائي مجبر على الإجابة بأنّه لا يعرف .

ولنوضّح على الفور هذه القضيّة : إن الفيزيائيّ يعجز عن أن يدلّ على النقطة بالذات التي يوجد فيها الإلكترون في لحظة معينة لكن بوسعه أن يتكهّن بإمكان وجوده في هذه النقطة

أكثر من إمكان وجوده في تلك . وبوسعه أيضاً أن يكوّن له تمثيلاً تصويريّاً فيرسم النواة ويرسم حولها منطقة تتراوح في البياض والدكنة بقدر احتمال وجود الإلكترون فيها . من هذا التمثيل نشأ الشكل ٣ الذي يرمز إلى ذرّة الهيدروجين في أربع حالات مختلفة من الإثارة . وفي كلّ من هذه الحالات يوجد الإلكترون في موضع ما من الغمامة البيضاء، ويرجح أن يكون حيث تبدو أكثر كثافة .



الشكل ٣. — الذرّة حسب الميكانيكا التموجية

٨ . الميكانيكا الإحصائيّة . قانون اللامتناهي في الصغر

ويمثّل أيضاً هذا الاحتمال للعثور على الإلكترون في نقطة ما بمنحنٍ فيه مرتفعات ومنخفضات تدلّ على احتمال وجود الإلكترونِ . ومن وجهة النظر هذه تعرف حركة الألكترون

عندما يتمّ الحصول على المنحني الذي يرمز إليه . وإنطلاقاً من هنا يصبح بالإمكان أن نعمّم وأن نطبّق هذا الاعتبار على جميع الجسيمات التي تعمر عالم الذرّة إلى جانب الإلكترون . وبإمكاننا أن نخصص لكلّ من هذه الجسيمات منحنياً يمكّننا من وصف الظاهرات التي يسهم فيها وصفاً دقيقاً .

ولا يخفى على أحد أننا أصبحنا في غمرة « الميكانيكا التموّجيّة » . وهذه الميكانيكا هي أمضى سلاح يعرفه الفيزيائيّون اليوم ويمكّنهم من استكشاف الذرّة . وهي مبنيّة على نظريّة الكمّات التي جاء بها پلانك وعلى مبدإ انضمام كل جسم بمنحني احتمال يُسمّى « موجة د ه برويل » . ولكنّ هذه الميكانيكا التموّجيّة إذ تضع بين أيدي علماء الفيزياء أداة لا مثيل لها لسبر أغوار المادّة تقرع ناقوس الحزن : الحزن على الأمل الذي كنّا نعلّل النفس به في ما مضى في معرفة كلّ إلكترون وكلّ جسيم على حدته، فالميكانيكا العصريّة لا تهتمّ بجسيم على حدته بل بـ « مجموعة » من الجسيمات . تجهل الفرد ولا تعرف أن تصف إلاّ جماعة . وقد استولت الميكانيكا الإحصائيّة على الميكانيكا الكلاسيكيّة المنبثقة من نيوتن ولاپلاس .

الفصل الثاني

اكتساح النواة الذريّة

نستطيع أن نضع على قطر النقطة التي تنهي هذه الجملة ما لا يقلّ عن ١٠ ملايين ذرّة . ولو كان بإمكاننا أن نفحص إحداها تحت مجهر يكبّر مليون مرّة ونؤخذ بوهم الذرّات السيّاريّة لبدت كلّ واحدة منها بعرض ملّيمتر واحد، ولتعذّرت علينا كلّيّاً رويّة النواة والإلكترونات التي هي ١٠٠٠٠ مرّة أو ١٠٠٠٠٠ مرّة أصغر من ذلك . ويصبح بوسعنا أن نقول : « يا للعجب ! أليست الذرّة التي هي مادّة الكون مصنوعة إلاّ من فراغ ؟ » ويظل علينا أن نصل إلى قدر يبلغ ١٠٠٠ قدر من أقدارها لنصل إلى قدر ظاهر لا يتعدّى المتر ويبدو فيه الإلكترون كحبّة غبار قطرها ١/١٠ ملم.

بضعة أجزاء من مائة مليار جزء من الملّيمتر ذلك هو في الواقع الحجم الحقيقيّ لهذا الشيء المتناهي في الصغر الذي هو نواة الذرّة التي تحتاج دراستها إلى آلات تسمّى سنكروترون[1] يبلغ وزن الواحدة منها وزن سفينة حربيّة، ولها مع ذلك من

---

(١) السنكروترون هو مسارع جسيمات في مدار دائري متزامن مع الحقل المغناطيسي (المعرب)

القوّة ما جعلها تقلب منذ عشرين سنة السياسة الدوليّة رأساً على عقب .

فمنذ بداية هذا الفصل سنترك الذرّة التي درسناها حتّى الآن في مجملها لننزوي في داخل بنيتها . ولئن كانت الذرّة حصناً فالنواة برجها الرئيسي ، وهذا البناء المركزيّ هو الذي سنزوره الآن .

١ . النواة وبروتوناتها

لقد ألقينا على هذا البرج الرئيسيّ حتّى الآن نظرة عاجلة ، وعشنا خلال الفصل الأوّل من هذا الكتاب مع افتراض رثفورد التي يعطي النواة دور جسيم مشحون بكهرباء موجبة وقادر من جرّاء ذلك على التوازن مع جملة الكهرباء السالبة المشحونة في الإلكترونات . وعندما تساءلنا : « ماذا تنفع النواة ؟ » اكتفينا بالإجابة : « إنّها تكوّن المادّة » . لكن الوقت قد حان لنتخطّى مرحلة رثفورد ونضع أنفسنا أمام آخر ما توصّلت إليه معارفنا في عام ١٩٧١ .

وأول سؤال يجب أن نطرحه هو التالي : « هل النواة ، أكانت نواة هيدروجين أو حديد أو أورانيوم ، تشكّل كتلة واحدة متماسكة ومتجانسة أم هي مبنيّة من مواد أصغر منها كما يبنى الحائط من الحجارة ؟ » وهذه المسألة بدورها كان رثفورد العظيم قد حلّها . ولمّا كان الدور الواضح للنواة

هو أن تتوازن كهربائياً مع شحنة الإلكترونات فمن الواضح أيضاً أن لا تحتاج نواة الهيدروجين التي لا يرافقها إلا إلكترون واحد، إلا إلى شحنة كهربائية « واحدة » . فيجدر بنا والحالة هذه أن نفترض أن هذه النواة لا تتألف إلا من جسيم « واحد » مكهرب إيجابياً أطلق عليه الفيزيائيّ البريطاني اسم «البروتون». والهيليوم الذي تحتوي ذرتُه على إلكترونين ؟ فلنتصور إذن نواته مؤلّفة من جسيمين موجبين، أي من بروتونين . وتكوّن الليثيوم (٣ إلكترونات) نواة مؤلّفة من ٣ بروتونات وللحديد (٢٦ إلكتروناً) نواة مؤلّفة من ٢٦ بروتوناً وهكذا دواليك حتى الأورانيوم الذي تبلغ شحنته السالبة ٩٢ وتوازنها نواة موجبة مؤلّفة من ٩٢ بروتوناً .

٢ . النويّة، أهي بروتون أم نوترون ؟

لقد اعتقد رثفورد أنّه حلّ بهذه الطريقة مشكلة تركيب الذرّة . ولسوء الحظ لم ينقض زمن طويل قبل أن تبيّن أن هذا الحلّ لا يفي بالمرام . لأنّ البنيّة البروتونيّة للنواة إذا كانت تفسّر كون شحنة البروتونات تتراوح بين ١ و٩٢ فإنّها تظلّ عاجزة كل العجز عن تفسير كون وزن نواة الهيليوم يبلغ أربعة أضعاف وزن نواة الهيدروجين (في حال أنّها لا تحتوي إلا على بروتونين فلا يجب أن يتعدّى حجمها الضعفين) وكون وزن نواة الاورانيوم يبلغ ٢٣٨ ضعف وزن نواة الهيدروجين (مع أنها لا تحتوي إلا على ٩٢ بروتوناً) .

لذلك تصوّر علماء الفيزياء نواة لا تحتوي على بروتونات وحسب – وهي جسيمات يسهل الكشف عنها بسبب شحنتها الكهربائيّة – بل على « نوترونات أيضاً » وهي جسيمات غير مكهربة لا تمثّل أي دور في توازن الذرّة الكهربائيّة وتنحصر وظيفتها في زيادة وزنها .

والفيزيائي الألمانيّ هيزنبرغ هو الذي اقترح هذا الترتيب الجديد للنواة في عام ١٩٣٢ . فبدت هذه النواة مبنيّة من مادّتين مختلفتين هما البروتونات والنوترونات . ثم اكتشف أن هذه الجسيمات تتشابه تشابها غريباً ما دامت كتلتهما واحدة تقريبا وتبلغ ١٨٣٦ ضعفاً من أضعاف كتلة الإلكترون (أي ١,٦٧ × ١٠ ^-٢٤^ غراماً) وما دام الفارق الوحيد بينها أن الإلكترونات مشحونة وأن النوترونات لا شحنة فيها . وقد حمل هذا الشبه علماء الفيزياء على الاعتقاد بأن الإلكترون والنوترون ليسا في آخر الأمر إلاّ شيئاً واحداً بالذات هو النويّة التي تظهر ، وفاقاً للظروف، تارة بشكل بروتون وتارة بشكل إلكترون .

وعلى هذه الفكرة تقوم اليوم نظريّة النواة بحيث تبدو لنا وكأنها كدس من النويّات تتحوّل ، تحت تأثير عوامل في غاية التعقيد، من بروتونات إلى نوترونات والعكس بالعكس.

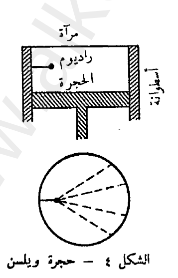
٣ . كاشفات الذرّات

في كلّ ما ذكرناه، تظلّ نقطة غامضة بالنسبة إلى القارئ الذي قد يتساءل : « كيف يُعرف كلّ هذا ؟ »

نعم ! إنّه لمن البراعة بمكان أن نفسّر ، كما فعلنا، تصرّف الذرّة وبنية النواة وتحوّل النويّات المتبادل . ولكن كيف يُعرف كلّ هذا ما دامت الأمور تجري في عالم لا متناه في الصغر لا نستطيع ولوجه بشكل من الأشكال ؟

ونجيب فوراً أن التعبير « بشكل من الأشكال » يجب العدول عنه، وأن علماء الفيزياء، إذا كانوا يتحدّثون عن هذه الظاهرات المدهشة فلأنّهم يشاهدونها . ولديهم ، في الواقع ، عدد من الأجهزة التي تمكّنهم من تتبّع خطى ذرّة فرديّة أو جسيم ومن تسجيل كلّ ما يحدث لهما ويصوّروه .

وجدّة جميع هذه الآلات هي « حجرة ويلسن » التي اخترعها الفيزيائيّ الانجليزي عام ١٩١٢ .



الشكل ٤ — حجرة ويلسن

تتألّف هذه الحجرة من أسطوانة مقفلة بمرآة ومملوءة هواء رطباً مع قطعة صغيرة من الراديوم ويحدث انتقال المكبس تمدّداً فجائيّاً في بخار الماء فيتجمّع نقطاً صغيرة على مسار الجسيمات المكهربة. ويرتكز سير هذه الحجرة على مبدإ تكوّن السحابات البيضاء التي تشاهد أحياناً على ارتفاع شاهق في أثر الطائرات. وليست هذه السحابات سوى قطرات صغيرة من الماء تتكاثف عند مرور المحرّك. أمّا في حجرة ويلسن، وهي وعاء من الزجاج يحتوي على بخار مشبع، فمرور الجسيمات المكهربة — البروتونات أو الإلكترونات مثلاً — هو الذي يحدث التكثّف. وهكذا يكشف مسار هذه الجسيمات عن نفسها بأثر يمكن تصويره.

وقد حلّ في أيّامنا محلّ حجرة ويلسن جهاز أحدث منها وأكثر فعّاليّة، هو «حجرة الفقّاعات». ولا تحتوي هذه الحجرة على غاز بل على سائل (هيدروجين أو بروبان) يحدث فيه هجوم الجسيم المفاجئ غلياناً موضعيّاً يكشف عن نفسه بسلسلة من الفقاقيع الصغيرة التي يمكن تصويرها. وقد تبلغ حجرة الفقاقيع كما تبلغ حجرة ويلسن أحجاماً لا بأس بها، فمنها ما لا يقل طوله عن مترين. وقد بدأ بعضهم يستبدلها بـ «حجرة الشرارات» التي يُقتفى فيها أثر الجسيمات تحت شكل رتل من الشرارات بعد عبورها خلال سلسلة من اللواحب المغموسة في غاز.

ولا بدّ من أن نضيف إلى هذه الأجهزة الثلاثة التي تجسّم مسار جسيم مكهرب ، الصفيحة، أو بالأحرى المستحلب الفوتوغرافي وهو مستحلب سميك يستطيع الجسيم أن يعبر خلال قطعه الأفقيّ وهو يحفظ أثر جميع الظاهرات التي تصدر عنه .

ماذا ترى على هذه الكليشّيهات؟ حزوزاً دقيقة تنحني أحياناً (إذا التوى مسار القذيفة تحت تأثير حقل مغناطيسيّ) وتتقاطع وتتلاقى وتتوقّف أحياناً فجأة . وباختصار القول تبدو لنا شبكة معقّدها يتوصَّل رجال الاختصاص، مع الكثير من الصبر وطول البال، إلى التعرّف إلى الجسيمات المختلفة وسرد وقائعها . لذلك، عندما سنتكلّم في الصفحات التالية عن النوى التي تتفكّك والجسيمات التي تتصادم أو تتحوّل إلى طاقة، يجب أن يُفهم أن ما سنقوله ليس مجرّد افتراضات جزافيّة جاءت نتيجة لاستنتاجات نظريّة، بل بالعكس هو عرض لظاهرات حقيقيّة حلّ علماء الفيزياء رموزها على صور فوتوغرافيّة .

٤ . النظائر : هذه التوائم

لقد ولجنا منذ هنيهة، طريق الغائية – والحقّ يُقال أنها غائية في غاية السطحيّة والبراءة . فلنتابع سيرنا عليها ونسأل العلم : ما هو الدور الذي يقوم به كلّ من البروتونات والنوترونات في البناء النوويّ؟ إنه لمن السهل تحديد دور البروتونات . فلما كان عدد البروتونات في النواة يساوي عدد

الإلكترونات التي تدور حولها، فكلاهما يحدّد طبيعة الجسم. فذرّة الحديد التي تحوي ٢٦ إلكتروناً تحوي في نواتها ٢٦ بروتوناً ايضاً، وتحوي ذرة الراديوم ٨٨ بروتوناً لتقاوم إلكتروناتها الثمانية والثمانين. أمّا النوترونات...

فلنأخذ جسماً بسيطاً – القصدير مثلاً. فذرّة هذا المعدن تحوي ٥٠ إلكتروناً او بالتالي ٥٠ بروتوناً نوويّاً). ولما كان وزن نواته، من ناحية ثانية، يبلغ وزن ١٢٠ بروتوناً، علينا أن تفترض أن ٧٠ نوترونا تضاف إلى البروتونات الخمسين. وللإجابة عن السؤال الذي طرحناه، لا يبقى علينا إلاّ أن نتساءل عمّا يحدث إذا أضفنا نوتروناً إلى هذه النوترونات أو أنقصنا منها نوتروناً، والجواب صريح: لن يحدث شيء ما دام عدد البروتونات لا يتغيّر. فذرّة القصدير تظلّ ذرّة قصدير.

لنقل إنّه يكاد لا يحدث شيء: فالذرّة تصبح فقط أخفّ بقليل أو أثقل بقليل مما كانت عليه أي أن وزنها يصبح مساويا لوزن ١٢١ بروتونا أو لوزن ١١٩ بروتوناً. فلن يكون هو هو بالذات ولا هو كليّاً غير ما هو: انّه يكون «نظيراً». ونستطيع القول، بطريقة أوضح إنه يوجد للقصدير أنواع مختلفة أو نظائر مختلفة، تحوي جميعها حتماً ٥٠ بروتوناً لكن لبعضها ٧٠ بروتوناً أو ٦٨ أو ٦٦ أو ٦٧ وهلمّ جرّاً.

وهذا يعني أن القصدير العاديّ هو مزيج من تسعة نظائر، يوجد فيه النظير ذي السبعين نوتروناً، وهو اغزرها، بنسبة ٣٣ ٪.

ونعرف اليوم نظائر عناصر عدّة. فللهيدروجين نظيران (يحوي أحدهما بروتونا ويحوي الآخر بروتونا ونوترونا ويسمّى «الدوتيريوم»). وللأكسيجين ٣ نظائر (في أحدها ٨ نوترونات وفي الثاني ٩ نوترونات وفي الثالث ١٠)، وهلمّ جرّا. ومن منّا لم يسمح بالنظيرين الرئيسيّين للاورانيوم، أحدهما (وهو الاورانيوم العادي) الذي يحوي ١٤٦ نوتروناً، والثاني (المتفجّر الذرّيّ) الذي يحوي ١٤٣ نوتروناً.

٥. ما هو النشاط الإشعاعي؟

أما إذا أضفنا إلى النواة بروتوناً أو حذفنا منها بروتوناً، عوضاً عن أن نضيف أو نحذف نوتروناً، فماذا يحدث؟

لن نتوقّف على ما قد يبدو في هذه القضيّة بعيداً عن الواقع ولن نتساءل عمّا إذا كنّا نستطيع أن نجري هذه العمليّة الجراحيّة على كائن يفوق في الصغر جزءاً من ٣٠ مليون مليار جزء من رأس دبّوس، فهذه عمليّة مألوفة لدى علماء الذرّة، وسنراهم يجرونها عمّا قريب. فلنتصوّر إذن أننا نستطيع انتزاع بروتوناً من نواة نفترض أنها نواة زئبق تحتوي على ٨٠ -

بروتوناً . فهذه النواة التي أصبحت تقتصر على ٧٩ بروتوناً لم تعد زئبقاً ، وإذا عدنا إلى لائحة العناصر تتبين أنّها تحوّلت إلى نواة ذهب . وها نحن قد أجرينا تحوّلاً عنصريّاً لا ندين فيه بشيء للكيميائيّين . ومن الواضح أننا إذا أضفنا بروتوناً إلى نواة ذهب نحصل على نواة زئبق .

فلنأخذ إذن علماً بهذه العمليّة الأساسيّة : إن تغيير عدد بروتونات نواة يعني تغيير طبيعة هذه النواة ، وبالتالي العناصر ذاته . وهذه العمليّة هي اليوم عاديّة جداً في الفيزياء النوويّة والطبيعة هي التي علّمتها الإنسان أو بصورة أدقّ ، علّمتها هنري بكريل عام ١٨٩٦ . فبعض النوى الكبيرة ، كنوى الأورانيوم والراديوم تشهد هيجاناً داخلياً قويّاً . ويبلغ هذا الهيجان من الشدّة أحياناً ما يؤدّي إلى طرد بعض النويّات خارجاً عن النواة . وليس هذه الظاهرة إلاّ النشاط الإشعاعيّ . وقد يبدو هذا النشاط بمظاهر مختلفة أهمّها النشاط الإشعاعيّ « ألفا » — عندما تُقذف النويّات أربعةً أربعةً : بروتونين ونوترونين . وكلّ من هذه المجموعات يتصرّف كجسم حقيقي يُطلق عليه اسم « جسم ألفا » . ولما كانت النواة تفقد هكذا بروتونين ، فإنها تنحدر درجتين في سلّم تصنيف الأجسام البسيطة : فالراديوم مثلاً ، الذي يحتوي ، كما رأينا ، على ٨٨ بروتوناً يتحوّل إلى عنصر يحتوي على ٨٦ بروتوناً وهذا الجسم هو « الرادون » . والأورانيوم (٩٢ بروتوناً) ينحدر إلى درجة « الثوريوم » (٩٠ بروتوناً) وهلمّ جرّاً .

وقد يحدث أن العنصر الذي يتحوّل إليه الجسم المشعّ يتمتّع بخاصيّة هذا الجسم، فيفقد هو أيضاً بدوره بروتونين وينحدر درجتين جديدتين. ويمكن أيضاً أن يتحوّل من جديد إلى جسم مشعّ، ويتتابع التحوّل حتّى يصل إلى جسم غير مشعّ. وعندئذ يجد الفيزيائي نفسه أمام أسرة من العناصر المشعّة. ويعرف العلماء حتّى الآن عدداً لا بأس به من هذه الأسر المشعّة – كأسرة الأورانيوم مثلاً التي تنتج على التوالي الثوريوم والبروتكتينيوم والراديوم والرادون والبولونيوم حتّى تصل إلى جسم ثابت هو الرصاص.

ولا تقوم ظاهرة النشاط الإشعاعيّ على التحول وحسب، فانطلاق طاقة بشكل «أشعة غمّا» واشعة Y هذه هي كناية عن موجات كهرطيسيّة قريبة من الموجات الضوئيّة لكنّها تفوقها كثيراً في ارتفاع تواترها وبالتالي في قوّة طاقتها. لذلك يستعملها الأطبّاء في معالجة داء السرطان الذي تحرق خلاياه المصابة وتتلفها. والعقبة هنا هي أن الطبيعة هي التي تنظّم بث أشعّة Y وليس بوسع أحد أن يخفّف من سرعتها أو أن يزيد فيها فالراديوم مثلاً يحدث هذا البث خلال تفكّك يمتدّ على أكثر من عشرين قرناً وليس من سبيل إلى تقصير هذه المدّة! لكن العلماء قد تغلّبوا على هذه العقبة بصنعهم عناصر مشعّة اصطناعيّة يحدّدون مسبقاً مدّة تفكّكها. وفريدريك وإيرين جوليو كوري هما اللذان اكتشفا ظاهرة الإشعاع الاصطناعي هذه عام ١٩٣٤، وهي تمكّن اليوم من تحضير

أجسام مشعّة لها من الشدّة أو من الضعف بقدر الحاجة . وهكذا يستعمل الأطبّاء في « قنبلة الكوبالت » كوبالتاً اصطناعياً، ويستعمل الصناعيّون، لتحليل المعادن عناصر مشعّة اصطناعيّة كالتانتال المشعّ والسيريوم المشعّ .

٦ . مقدّمة للتحوّلات النوويّة

والآن، قد حان الوقت لنصل إلى المظهر العمليّ لجميع هذه الظاهرات . ولئن كان القارئ قد فهمها فهماً تامّاً، فيحق له أن يتساءل عن كيفيّة تطبيقها عمليّاً، لأن انتزاع نويّة من نواة أو إضافة نويّة إليها لا يتمّان بنفس السهولة التي تنتزع بها بزور برتقالة .

ورائد هذه الكيمياء النوويّة كان أيضاً رثفورد العظيم عام ١٩١٩، فهو أوّل من حصل على التحويلات الأولى . فماذا فعل؟ وما هي الطريقة التي لجأ إليها لتعديل عدد بروتونات النواة؟ إنّه توصّل إلى هذه النتيجة بكلّ بساطة عن طريق قذف النواة بقذائف ملائمة . فقد افترض منطقيّاً أن قذف مجموعة من النوى قد يصيب بعضها إصابة مباشرة فترغم بروتوناتها على الارتكاس بشكل أو بآخر . ولذلك استعمل قذائف هي جسيمات ألفا المنطلقة من الراديوم وجعلها تعبر انبوباً فيه آزوت. وقد مكّنه جهاز اختباري لبق من ملاحظة كون نوى هذا الغاز تفقد، تحت تأثير الصدمة، أحد بروتوناتها السبعة، وأن البروتونات الستّة الباقية تستولي على بروتوني

جسيم ألفا . فتصبح للنوى ٨ بروتونات ، وهذا يعني أنّها قد تحوّلت إلى نوى أكسيجين .

لقد حدث ذلك منذ أكثر من نصف قرن ونرى إلى أيّ مدى كان اختبار رثفورد بدائياً على الرغم من عبقريّته . أوّلاً لأنّ النوى تشكل أهدافاً من الصغر بحيث قذفها يشبه رمي حقل من رؤوس الدبابيس برصاص بندقيّة على أمل أن توجد بعض هذه الرؤوس على طريق الرصاص . وثانياً لأن النوى وجسيمات ألفا مكهربة إيجابياً فتتباعد فلا بدّ من مصادفة غريبة لالتقائها .

لن نذكر هنا التقدّم الذي أحرزته الآلات التي اخترعت لزيادة فعّاليّة الرمي ولا تحسّن اختيار القذائف ونصل مباشرة إلى التقنات المستعملة الآن . فالتحوّل لا يتم في أيّامنا من نواة إلى نواة بل عن طريق قذف مركّز . والنتيجة ليست تكوين بضعة مئات من الذرّات بل غرامات وكيلوغرامات من المادّة . . والنتيجة العمليّة هي من الأهميّة بحيث لا تتراجع الحكومات أمام انفاق عشرات الملايين من الفرنكات على المختبرات التي تقوم بهذه العمليّة .

وقد يجدر بنا قبل ذلك أن نحدّد الوحدات التي تقيس الطاقة المنعتقة في هذه المناسبات . وبما أنّ التحوّل الذرّيّ يحدث دائماً عن طريق قذف النوى ، فلا بدّ من أن نعرف مدى الطاقة التي تحتاجها هذه القذائف . ففي حال قذف بالمدفعية

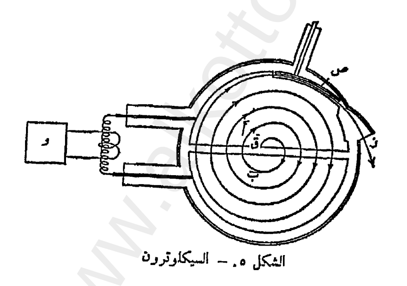
تقاس الطاقة البدائيّة للقذيفة بالكيلوغرام متر أو بالإرغ [1] ، لكنّ هذه الوحدات ليست عمليّة بالنسبة إلى القذائف المكهربة اللامتناهية في الصغر . لذلك يحلّ محلّها « الإلكترون فلط » . وكما أنّ الكيلوغرام متر هو طاقة وزن كيلوغرام يسقط من ارتفاع متر ، كذلك يمكننا القول إن الإلكترون فلط هو طاقة الكترون الذي يهبط جهده فلطاً واحداً . وهذه وحدة صغيرة جداً لأن ٦٢٨ ملياراً منها تساوي إرغاً واحداً . لذلك يستعمل علماء الذرّة عادة الميغا إلكترون فلط (١ م إف= مليون الكترون فلط) والجيغا إلكترون فلط (١ ج إف = مليار إلكترون فلط) .

٧ . مجموعة المدفعيّة النوويّة

للمدفعيّة النوويّة مبدأ مشترك مع المدفعيّة ... العاديّة : فبقدر ما تكون طاقة القذيفة مرتفعة بقدر ذلك يعظم مردودها. ولقذف النوى بأعلى حدّ من الفعّاليّة ينبغي رمي المقذوفات باكبر قدر ممكن من الطاقة . وقوام الطريقة أن تُصنع المقذوفات (من بروتونات مثلا انطلاقاً من ذرات هيدروجين مؤيّنة) وتُسارَع وتقذف على نوى بعد أن تكون قد بلغت أقصى حدّ من السرعة .

(١) الإرغ هو تقريباً كمية الطاقة التي يحتوي عليها رأس دبوس يسقط من ارتفاع ٣٠ سنتيمتراً

وبين أيدي علماء الفيزياء النوويّة اليوم مجموعة كاملة منها المسارعات التي تقوم مقام مدافع المقذوفات ، ومنها «الخطيّة» التي تبني فرنسا أمثالها في ساكليه وفي أورسه . ففي هذا النوع من الآلات يعبر الجسم القذيفة انبوباً مستقيماً يبلغ طوله مئات الأمتار وتسارّع خلال عبورها هذا مراراً بواسطة توتّرات كهربائيّة مرتفعة . ومنها المسارعات الدائريّة المشتقّة عن السيكلوترون (شكل ٥) والتي يُعتبر السنكروترون أحدث طراز لها . والفرق بين السنكروترون والمسارع الخطّي



الشكل ٥. — السيكلوترون

يرسل المولد (و) تياراً متناوباً في اللاحبين (أ) و(ب) . والقذية الذرية (ق) تسير بشكل لولبي وبسرعة متزايدة تحت تأثير هذا التيار وتأثير كهرطيس . وترغمه الصفيحة (ص) على الخروج من النافذة (ن) التي يوجد وراءها الهدف الذي يرغب في تحويله .

هو شكله الدائريّ الذي يمكّن من تصغير حجمه وزيادة مداه . ومن هذا الطراز السنكروترون «ستورن» في ساكليه وسنكروترون المنظّمة الأوروبيّة للبحوث النوويّة في جنيف وسنكروترون سربوخوف في الاتحاد السوفييتي وغيرها . ويبدو كلّ من هذه الأجهزة بشكل حلقة مستديرة جبّارة يبلغ قطرها ١٧ متراً في ساكليه و٤٠٠ م في جنيف و٤٧٢ م في سربوخوف ، وتدور فيها الجسيمات التي تسارعها من مكان إلى آخر أجهزة مغناطيسيّة . ولا تتعدّى طاقة المسارع الخطّي ١ ج أف بينما تتعدّى طاقة المسارع الدائري ٧٠ ج أف . فبواسطة هذه الأجهزة الأخيرة يدرس العلماء البنية الأخيرة للمادّة ولا يكتفون بتشريح النوى وحسب بل يشرّحون الجسيمات التي تكوّنها والتي سنتعرّف إليها عمّا قريب .

٨ . من المادّة إلى الطاقة ومن الطاقة إلى المادّة

علينا أن نعود الآن إلى نقطة تجنّبنا شرحها في الصفحة ٣٧ غير أن معرفتها ضروريّة لفهم سياق حديثنا . وهذه النقطة تتعلّق ببثّ النوى لأشعّة Y : فمن أين تأتي أشعّة Y هذه؟

لنتذكر أن النواة تتألّف من نويّات عدّة تبلغ كتلة كل واحدة منها ، بروتوناً كانت أم نوتروناً ١,٦٧ × ١٠ — ٢٤ غراماً . فإذا كانت هذه النواة تتألّف من ٢٢٦ نويّة مثلاً (كما هي الحال في الراديوم) نتوقّع أن تكون كتلتها الكليّة

$١,٦٧ \times ١٠^{-٢٤} \times ٢٢٦$. والحال أن الأمر ليس على هذا الشكل فالكتلة الحقيقية هي في الواقع أقل من ذلك . وينجم العجز عن أن النويّات تحتاج إلى قدر من الطاقة لتلتحم معاً وأنّها لم تجد هذه الطاقة إلاّ بتحويل قسم من كتلتها إلى طاقة . وهذا هو أصل «طاقة الترابط» التي ليست سوى تطبيق بسيط للعلاقة التي اكتشفها أينشتين عام ١٩٠٥ بين كتلة جسم ما ومكافئها الطاقيّ [١]... وطاقة الترابط هذه هي التي تحفظ تماسك النواة .

وعندئذ يمكننا أن نفهم ما يحدث عندما نعتدي على سلامة النواة إمّا عن طريق النشاط الاشعاعيّ الطبيعيّ أو الاصطناعيّ أو عن طريق القذف النوويّ . فالنويّات تنفصل وتتحرّر الطاقة التي كانت تؤمّن تماسكها وتنبثق بشكل أشعّة Y ـ وهذا هو مصدر الطاقة النوويّة .

وفي الظاهرات النوويّة العاديّة لا يتحوّل طبعاً الا جزء يسير من هذه الكتلة إلى طاقة . فطاقة الترابط الكليّة الموجودة في نواة الاورانيوم تقرب من ١٨٠٠ ج أف . وهذا مبلغ ما يمكن تحريره لو كان بالإمكان تحويل النواة بكاملها إلى طاقة . والواقع أن الانفلاق الذي هو في أساس سير المصانع النوويّة ، لا يعتق من هذه الطاقة إلاّ ٢٠٠ ج أف . وليس ما يحول دون

---

(١) هذه العلاقة هي ط = ك ض^{٢} ، أي أننا إذا ضربنا كتلة الجسم ك بمربع سرعة الضوء ض نحصل على الطاقة ط الناجمة عن التفكك الكامل لهذا الجسم .

الاعتقاد بأن علماء الذرّة سيتوصلون يوماً إلى إعتاق هذه الطاقة بكاملها . وبإمكاننا أن نتصوّر الثورة التي تحدث عندئذ في الإنتاج الصناعيّ للطاقة ما دام كيلوغرام واحد من أيّة مادّة كان يشكّل ٢٥ مليار كيلوواط في الساعة أي ربع إنتاج فرنسا للطاقة الكهربائيّة في عام ١٩٦٥ ...

٩ . كلمة عن الطاقة النوويّة

إن تحرير طاقة الترابط بين نويّات نواة الاورانيوم هو إذن ما تحقّقه صناعة الطاقة النوويّة . ويتمّ ذلك في «مفاعلات» أو حاشدات ذريّة . ويجد القارئ في مصنّفات أخرى من من هذه المجموعة تفاصيل وافية حول هذا الموضوع ونكتفي هنا بأن العلماء يستغلّون لهذه الغاية ظاهرة «الانفلاق» : فعندما يُقذف الأورانيوم بنوتروناته تنفلق كل نواة من نواياه قسمين ويتحرّر ما يوافق ذلك من طاقة الترابط تحت شكل أشعّة غمّا وينعتق فوق ذلك نوترونان أو ثلاثة نوترونات . وهذه النوترونات بدورها تفلق نوى أخرى وهكذا ينتشر «التفاعل المتسلسل» الذي تُلتقط حرارته وتستخدم لتغذية الآلات البخارية

وداخل المفاعل النوويّ أتّون تبلغ فيه الحرارة درجة ليس في العالم من يمكّن من إعطاء فكرة عنها . وكل ما نستطيع أن نتصوّره هو محيط تتشابك فيه إشعاعات من كل نوع ويبلغ فيه القذف مبلغاً لا تقرب منه أقوى مسارعاتنا . لذلك يستعمل

علماء الفيزياء المعاملات، إلى جانب أوجه استعمالها المعروفة، عندما يرغبون في أن يهاجموا النوى بعنف خارق. وهذا ما يحدث عندما يرغبون في تزويد القذائف بطاقة قادرة على التغلّب على المقاومة الإلكتروستاتيّة التي تبديها النوى الكبيرة. وهكذا يصبح بوسعهم أن يضيفوا قسراً بروتونات إلى نوى مكتظّة. وبهذه الطريقة يتوصّلون إلى خلق عناصر جديدة ما وراء الأورانيوم من النبتونيوم الحاوي ٩٣ بروتوناً إلى أحدثها وهو الخورتشاتوفيوم الحاوي ١٠٤ بروتونات.

١٠ . خلق المادّة

يعتقد القارئ الذي فكّر بعلاقة اينشتين (التكافؤ بين المادّة والطاقة) أنها ليست في اتّجاه واحد: فإذا دلّت على أن الكتلة قادرة على التحوّل إلى طاقة أفلا تحمل على الاعتقاد بأن الطاقة قادرة أيضاً أن «تتكثّف» في مادّة؟ الجواب هو بلى. وإذا توصل العلماء إلى تكثيف ٢٥٠ مليار كيلواط في الساعة يكونون بذلك قد خلقوا كيلوغراماً من المادّة!

إن العلم لم يصل بعد إلى هذا الحدّ. بل إن كلّ ما توصّل إليه لا يتعدّى خلق بعض الإلكترونات بعد أن يركّز على هدف طاقة أقوى المفاعلات. لكنّها خطوة أولى مشجّعة، ويجب أن يكون إيماننا بالعلم ضعيفاً لنشك في قدرته على أن يخلق في المستقبل أيّة مادّة يرغب فيها، — وما الذي يحول دون خلقه عالماً جديداً؟

١١ . التنقيب في داخل النواة

لقد زرنا النواة وجردنا محتوياتها . وعلينا الآن أن نتابع الجرد ونتعمّق في التنقيب محاولين وضع تصميم للبناء النوويّ .

كيف يمكننا أن نتصوّر داخل النواة ؟ أهو كدس من النويّات ؟ أهل نشبّهه بكيس وضع فيه خلط من البروتونات والنوترونات ؟ إننا عندما نصل إلى هذا المستوى من اللامتناهي في الصغر نفقد كلّ أمل بتكوين فكرة عن الحقيقة ، إذا كانت الحقيقة تعني شيئاً في هذا المجال . غير أن قدرة العلم الاختباريّة لا تقرّ بعجزها حتى في هذه الأعماق وما يثير دهشتنا هو أنها بدأت تلقي بعض النور على ما يجري فيها من أحداث .

فلنأخذ مثلاً السرّ الذي كان يكتنف حتى الآن تركيب البيئة النوويّة . فالنواة تتألّف من بروتونات موجبة تتدافع ومن نوترونات محايدة لا تتدافع ولا تتجاذب . فكيف تستطيع هذه الجسيمات لا أن يحتمل بعضها بعضاً وحسب بل أن تظلّ جنباً إلى جنب وتشكل مجموعة متماسكة كلّ التماسك ؟ علينا إذن أن نسلّم بوجود قوى جذب نوويّة نجهلها كل الجهل ولا يسعنا إلاّ الاعتراف بوجودها ما دمنا نلاحظ نتائجها .

وليس لهذه القوى النوويّة أي وجه شبه مع القوى المألوفة — كالجاذبيّة العامّة مثلاً . ولكنّها لما كانت موضوع اختبار

فلا بدّ من أن تكون خاضعة لقوانين الفيزيا العاديّة . ولا بدّ بخاصّة من أن تكون تنتقل من نويّة إلى نويّة كالقوس الكهرطيسيّة التي تنتقل بواسطة فوتونات أو بواسطة دقائق وسيطة قد تكون نوعاً من تحتفوتونات .

١٢ . الدقائق الأساسيّة

هذه الدقائق التي تشكّل ركن مجالات القوّة النوويّة هي « الميسونات » . ولم تكتف النظرية بالتكهّن بوجودها بل توصّلت المراقبة إلى الكشف عنها ووصفها وقياس كتلتها . ويعثّر عليها في الإشعاع الكونيّ الذي هو خليط من جسيمات مختلفة تمطرها السماء بلا انقطاع بطاقة كثيراً ما تبلغ حدّاً بعيداً من الشدّة . ويفسّر قولنا « جسيمات مختلفة » بأن هذا المطر الكونيّ لا يحتوي على ميسونات وحسب بل على جسيمات ألفا وبروتونات ونوى أثقل منها ، كما يحتوي على دقائق كـ «البوزيتون» ــ الذي تجعله كتلتهُ شبيهاً بالإلكترون لكنّه مكهرب إيجابيّاً وعلى جمهرة من كائنات أخرى لا تتعدّى حياتها أحياناً لمحة بصر .

وهذه المجموعة من الدقائق التي اكتشفها رجال الاختصاص أوّلا في الإشعاع الكونيّ عثر عليها العلماء النوويّون في النواة عندما توصّلوا إلى فلقها بواسطة المسارعات الكبرى . وقد لاحظوا عند ذاك أن المادّة لا تتألّف من جسيمين أو ثلاثة جسيمات أساسيّة وحسب كما كنا نعتقد ذلك من قبل ، بل أنّها مبنيّة

من موادّ عديدة بعضها ثابت كالبروتون والإلكترون لكنّ حياة أكثرها لا تتعدّى الجزء من الثانية. والنويّة ذاتها بدت مؤخّراً مركّباً فيه «قلب» و«جوّ» يجعل منه تارة بروتوناً وتارة نوتروناً.

ويحصي العلماء اليوم أكثر من ١٠٠ جسيم بدائي لكنهم يجهلون ما منها يستحق أن يعتبر «أساسيّاً». وقد أضافوا اليها عدداً متزايداً من الجسيمات «المضادّة» كـ «مضادّ البروتون» «وهو بروتون سالب الشحنة» و«مضادّ النوترون» وغيرهما. ومن هذا الاكتشاف الأخير انتقلوا إلى مفهوم «مضادّ المادّة» الذي يعتقدون أنّ ذرّاته، بعكس الذرّات العاديّة، تتألّف من بروتونات سالبة وإلكترونات موجبة (هي البوزيتونات). ومضاد المادّة هذا الذي هو الموضوع المفضّل للعلم الوهميّ ليس الآن إلاّ إمكاناً مختبريّاً. ولكن من يؤكّد لنا أنّه ليس حقيقة في زاوية من زوايا هذا الكون الفسيح؟

الفصل الثالث

المادّة عبر الكون

من يجهل قصّة ذلك الانجليزي الذي نزل في مرفإ بولونيا وإذ رأى امرأة صهباء استنتج من ذلك على الفور أنّ جميع الفرنسيّات صهباوات . ونستطيع أيضاً أن نذكر قصّة ذلك الباريسيّ الصغير الذي ذهب لأوّل مرّة إلى الريف وتعجّب من كون النباتات فيها « غير طبيعيّة » أي أنها لا تشبه حديقته المنسّقة واشجار اللوكسمبور المشذّبة تشذيباً فنّياً .

ولنعرّف بأننا نرتكب الأخطاء ذاتها، كما فعلنا ذلك في الصفحة السابقة، عندما نقول إن الأشياء التي هي أمام اعيننا « طبيعيّة » . صحيح أن جميع الأجسام التي نعرفها، حتى اجسام ما بعد الأورانيوم الغريبة، تتألّف من ذرّات مبنيّة على مثال واحد من إلكترونات سالبة ونوى مكوّنة من بروتونات موجبة . ولكن كيف نجروً على اعتبار ما قد لا يكون إلاّ حالة خاصّة بسيطة قانوناً عامّاً ؟

١ . قد توجد أنواع عدة من المادة

وصحيح أيضاً أن مرسمة الطيف تثبت لنا أن الشمس تتألف من ذرّات شبيهة بذرّاتنا، وكذلك النجوم حتى التي تقطن منها

أطراف مجرّتنا . ولكن يجب أن لا ننسى أن الشمس والنجوم والمجرّة لا تكوّن إلاّ ناحية من الكون لا تستحقّ الذكر . ألسنا نرى على الصور الفوتوغرافيّة المأخوذة بالراصدات الكبرى أكداساً هائلة من المجرّات التي لا تحصى والتي لا يقلّ حجمها عن حجم مجرّتنا ؟ فيكون من الجرأة والادّعاء أن نعتبر كلّ مادّة عبر مسافات الكون اللامتناهية شبيهة حتماً بالمادّة الأرضيّة وتخضع للقوانين التي تسيّر هذه المادّة . إن للطبيعة مخيّلة تفوق مخيّلة البشر . وإذا شاءت أن تصنع عالماً يختلف تكوينه عن تكوين عالمنا . مؤلّف من مضادّ للمادّة مثلاً ، من يا ترى يحول دون إرادتها هذه ؟ ومن يستطيع أن يؤكّد أن بعض المجرّات البعيدة التي يبوّبها علماء الفلك ليست في الواقع مضادّات للعالم من هذا النوع ؟ ولو كان ذلك صحيحاً لما توصّلنا إلى التحقق من صحّته عن طريق التحليل الطيفيّ ما دامت هذه المجرّات تتألّف من ذرّات تماثل ذرّاتنا فيها نواة سالبة وتوابع موجبة وتعطي الطيف ذاته الذي تغطّيه نجومنا المألوفة .

وهذا يعني أنّه ليس من الضروريّ ، في نظر العلم ، أن تكون المادّة في كلّ مكان مؤلّفة كالمادّة الأرضيّة انطلاقاً من الذرّات ذاتها . وقد يتساءل بعضهم : «لماذا إذن تتألّف المادّة الأرضيّة على الشكل الذي نعرفه لا على شكل آخر ؟ ولماذا بنيت الذرّات من جسيمات حتى من مضادّات الجسيمات».

سؤال نجيب عنه بطريقة واقعيّة بقولنا : « لأن الأمر هو هكذا ! ولعلّ السبب في ذلك أن ظاهرة ما، عندما تكوّنت مجرّتنا، جعلت كفّة الميزان تميل نحو الجسيمات لا نحو مضادّات الجسيمات ! ولكن، ليس من المحال، كما ذكرنا، أن تكون الأمور قد جرت على غير ذلك عند تكوين غيرها من المجرّات . ومن الممكن أيضاً أن تكون الطبيعة، من مكان إلى آخر، قد اختارت، لبناء الذرّات، موادّ تختلف عن البروتونات والإلكترونات . لقد حصلنا، في المختبرات، على ذرّات جديدة حلّت فيها الميترونات محلّ الإلكترونات وذرّات تشكّل البوزيتونات مكوّناتها النوويّة أو تشكّلها الهيبرونات المتفاوتة في الخفّة والثقل [1] . فلماذا لا تبلغ مهارة الطبيعة مهارة علماء الفيزياء ؟ ولماذا لا يمكن أن توجد كواكب مؤلّفة من هذه الذرّات الميزيّة أو الهيبرونيّة ؟ قد يعترضنا أحد بقوله إنّنا نطلق هنا الإفتراض جزافاً . ونحن نقبل هذا الاعتراض بانتظار تحقيق الملاحظة لافتراضنا . لكن هذا لا يمنع القارئ من الاعتراف بأنّ المادّة الأرضيّة لا تشكّل الاّ حالة خاصّة في مجموعة مدهشة من الحالات التي تحملنا فيزياء النجوم على الظنّ بوجودها .

---

(١) الهيبرون جسيم موجب أو سالب أو محايد يبدو تحت أشكال مختلفة وفاقاً لكتلته .

٢ . نظرة على فيزياء النجوم

كان السيّد دوران يشبه في عام ١٨٨٠ باريسيّنا الصغير الذي أشرنا إليه منذ هنيهة، والذي كان يعتقد بأن النباتات كلها يجب أن تكون شبيهة بنباتات باريس التي وصفها بأنّها « طبيعيّة »، وهذا لأنّه لم يكن قد ابتعد قط عن حيّه .

غير أن فيزيائيّي اليوم قد ابتعدوا كثيراً عن حيّهم . فعندما أرادوا أن يدرسوا تصرّف المادّة حين تتغيّر الشروط الخارجيّة، وعندما تكون الحرارة أو الضغط أو حالة التأيّن في غاية الهبوط أو الارتفاع خرجوا من مختبراتهم وأصبحوا علماء الفيزياء الكوكبيّة وأداروا وجوههم إمّا شطر النجوم أو شطر الغيوم الراكدة في الفضاءات الكونيّة . هل يقول أحد إن الوضع يختلف وإن الاختبار على مادّة يقدّر بعدها بالسنوات الضوئيّة أصعب من الاختبار على مادّة بمتناول اليد، في بوتقه أو في مخبرة ؟ كلاّ، والبرهان على ذلك أن معنى كلمة « مادّة » قد توسّع بفضل علماء الفيزياء الكوكبيّة بشكل لا يتصوّره العقل وأن قوانين الفيزياء اتخذت من الشمول ما كان من شأنه أن يدهش السيّد دوران . من الذرّة إلى النّجم هذا هو في الواقع مجال بحوثهم اليوم .

إن أكثر العوامل التي تؤثّر في حالة المادّة هو الحرارة . وهذه الحرارة تمتدّ على سلّم يحدّه في أسفله ــ ٢٧٣° ولا حدّ له في أعلاه . وتقرب درجة الحرارة في فضاء ما بين الكواكب من

الحدّ الأدنى، أما حرارة وسط الشمس فتبلغ ما يقرب من ١٥ مليون درجة، وتبلغ حرارة قلب النجوم النوترونيّة (أنظر ص ٥٧) كالتي اكتشفها الأميركيّون عام ١٩٦٣ مليارات الدرجات .

أما نحن فنعيش في داخل مجال حراري ضيّق لا يتعدّى بضع مئات الدرجات . وفي هذا المجال توجد الأشياء في الحالة التي قلنا إنّها « طبيعيّة » . ومن الواضح أن الحالة ليست على هذا الشكل في الكون إلاّ في الكواكب التي تشبه أرضنا . ولن يدهش أحد إذا قلنا إن هذه الكواكب لا تشكّل كتلة كبيرة إذا ما قيست بكتلة الكون . فالقسم الأكبر من هذا الكون يتألّف بدون شك لا من سيّارات بل من غيوم في غاية التخلخل ومن غبارات مبعثرة في الفضاء ولا تزيد حرارتها عن الصفر المطلق (— ٢٧٣°) إلاّ ببعض الدرجات، ومن نجوم تائهة هنا وهناك . وهكذا نلمس لمس اليد ضيّق منطقة الحرارة التي نعيش فيها، وهكذا أيضاً تنحدر المادّة التي نجدها فيها إلى مستوى حالة خاصّة من حالات مادّة أكثر منها عموميّة .

٣ ـ من المادّة الصلدة إلى البلازما

فكيف توجد المادّة إذن في أعمّ حالاتها ؟ لنتذكّر أن الذرّات آليّات سريعة العطب يمكن تعطيلها بصدمة تكون على شيء من العنف . وقد تنجم هذه الصدمات عن اقتحام جسيمات

مكهربة وسريعة . عندئذ تنتزع الإلكترونات الخارجيّة القليلة التعلّق بالنواة ويقال عندئذ إنّ الذرات التي فقدتها قد «تأيّنت». وقد تنجم هذه الصدمات أيضاً عن التهيّج الحراريّ عندما تسخن المادّة أي عندما تتعرّض الذرّات لإشعاع كهرطيسيّ . وهذا ما يحدث في المصابيح الكهربائيّة التي تنيرنا : فالسلك المعدنيّ الذي تبلغ حرارته درجة مرتفعة عند مرور التيّار يطاق الإلكترونات الخارجيّة من ذرّاته في دفق متواصل .

ومن الطبيعيّ أن يزداد تفكّك الإكليل الخارجيّ لذرّات المادّة بازدياد ارتفاع حرارتها . وبعد الإلكترونات الخارجيّة يأتي دور الإلكترونات المتوسّطة . وإذا بلغت الحرارة درجة كافية من الارتفاع تفقد الذرّة الكتروناتها ولا يبقى منها إلا نواة عارية . لكن ذلك لا يحصل إلاّ إذا بلغت الحرارة ملايين الدرجات اي إذا قذفت الذرّات بالأشعّة السينيّة أو بأشعة غمّا بدلاً من أن تقذف بأشعّة ضوئيّة أو فوقبنفسجيّة .

وإذا تذكّرنا الآن أن المادّة في الكون توجد إمّا مكدّسة كتلاً ضخمة مضطرمة هي النجوم أو مبعثرة عبر الفضاء الكونيّ بشكل جسيمات، نلاحظ ان الذرّات في كلّ من الحالتين لا يمكن إلاّ أن تكون مؤيّنة ــ ذرّات النجوم لأنها حارّة وذرّات الفضاء لأنها خاضعة باستمرار لإشعاع النجوم ذي التواتر المرتفع ــ وهكذا علينا أن نعتبر أنّ حالة التأيّن هي

الحالة الطبيعيّة للمادّة وأنّ حالة السيولة للماء حالة غير طبيعيّة لأن الماء لا يوجد في هذه الحالة إلاّ بين درجة صفر ودرجة مائة .

وللحصول على مثل واضح للمادّة المؤيّنة خير ما نستطيع عمله هو اللجوء إلى علماء الفلك الاختصاصيين بدراسة الشمس، فيحدثوننا عن الجوّ الذي يحيط بالشمس، وهو « الإكليل » . وتبلغ حرارة هذا الإكليل ما يقرب من مليون درجة لذلك أصبحت جميع ذرّاته مؤيّنة، وأخصّها ذرّات الحديد والنكل والكالسيوم التي فقدت من ١٥ إلى ١٦ إلكتروناً من إلكتروناتها التي يتراوح عددها بين ٢٠ و٢٨ إلكتروناً . ولمّا كان الجوّ في هذا الإكليل في غاية التخلخل، توجد هذه الإلكترونات التي تحرّرت من قيودها كما توجد نواها القديمة تائهة لا هدف لها . ويشكّل المجموع نوعاً من الغاز تتحرّك جسيماته المكهربة في اضطراب عنيف، وقد أطلق على هذا الغاز اسم « البلازما » .

ولدينا مثل آخر عن المادّة المؤيّنة — تحت تأثير إشعاعات مرتفعة التواتر — في مادّة ما بين الكواكب .

« مادّة ما بين الكواكب » : قد يحمل هذا التعبير على الدهشة لأن علماء الفلك كانوا يقولون في ما مضى « فراغ ما بين الكواكب » . أمّا في أيّامنا هذه فقد أصبح « فراغ ما بين الكواكب » ضرباً من الخرافة، فقد لاحظ علماء الفلك

أن نوعاً من الغمام في غاية التخلخل يشغل الفضاء حتّى في أبعد المسافات الّتي تفصل ما بين النجوم .

ويتألّف هذا الغمام الكونيّ من ذرّات ومن غبار نيزكيّ ومن جسيمات مختلفة لا يحتوي منه مكعّب طول ضلعه ١٠٠٠ كيلومتر سوى غرامات معدودة . غير أن هذا الغمام مهما بلغ تخلخله لا بدّ من أن يثبت وجوده في هذا المجال الذي تقاس فيه المسافات بالسنين الضوئيّة . وهو يلاحظ مثلا في جوار النجوم المرتفعة الحرارة الّتي تضيئه قليلاً فيظهر كما يظهر الضباب في الليل بشكل هالة حول المصابيح الّتي تنير شوارعنا . غير أن اشعاع النجم يختلف كلّ الاختلاف عن إشعاع المصباح لأنّ فيه من الأشعّة الفوقبنفسجيّة ما يؤيّن ذرّات محيط ما بين الكواكب تأييناً قويّاً، بحيث ينبغي علينا أن نصنّف هذا المحيط أيضاً في فئة البلازماوات .

ومن البلازما أيضاً الجوّ الأرضي على ارتفاع بضعة كيلومترات حيث تتعرّض ذرّات الاكسيجين والآزوت مباشرة لأشعّة الشمس الفوقبنفسجيّة . وهذا ما يفسّر كون هذه الذرّات تتحطّم في النهاية وتصبح أثوالاً من الجسيمات المتباينة . وهذه الأثوال المكهربة هي الّتي تكوّن « الجوّ المؤيّن » الذي يحيط بنا والذي يقوم بدور بارز في انتشار موجات الكهرباء اللاسلكيّة

٤ . ... ومن البلازما إلى المادّة المنحلّة

لقد اكتشفنا وجود البلازما عندما تصوّرنا مادّة موّينة خاضعة لضغط خفيف للغاية . فماذا يحدث لو تصوّرناها خاضعة لضغط قويّ للغاية ؟ هل أطلقنا هذا الافتراض جزافاً ؟ كلاّ ثمّ كلا حتى لو كانت ظروفنا الأرضيّة الضعيفة المسكينة لا تمكّننا من التحقّق من ذلك . ولكن لنتوجّه بأبصارنا نحو النجوم فسرعان ما نجد نماذج مادّة موّينة تنوء تحت ضغط مفــــــرط .

في الشمس أوّلاً . ولما كان طول شعاع هذه الكرة يبلغ ٦٩٦ ٠٠٠ كلم ولما كانت مؤلّفة من غازات فلا بدّ من أن يزداد ضغط هذا الغاز كلّما اقتربنا من المراكز . ويعتبر علماء الفلك مستندين في ذلك إلى حسابات دقيقة أن الضغط يبلغ ١٢٥ مليار كيلوغرام في السنتيمتر المربع في جوار هذه النقطة بينما تبلغ الحرارة، كما ذكرنا ذلك سابقاً ما يقرب من ١٥ مليون درجة . وذلك يفسّر كون الذرّات ، في ظروف كهذه، تبلغ درجة هائلة من التأيّن وأن مركّباتها من إلكترونات ونوى تتصرّف كافراد متحرّرة كلّ التحرّر . وذلك يعني أننا نجد أنفسنا أمام وضع بلازما ما بين الكوكب لولا أن الضغط هنا يدخل في الحساب .

وفي المحيط الكونيّ الذي يبلغ فيه التخلخل مبلغاً كبيراً تظلّ جسيمات البلازما متباعدة . أمّا في داخل الشمس فالضغط

هو من القوّة بحيث يرغمها على التقارب بالرغم من تنافرها الإلكتروستاتيّ . وتعود لا تتمتّع بحريّة التحرّك حسب هواها بل تظلّ مضغوطة مكدّسة . ومع أنها تظلّ خاضعة لقوانين الغازات فهي تعطي المادّة شكل الأجسام الصلدة . ولما كانت النوى قد فقدت أكليلها الإلكترونيّ لتظلّ على مسافة مناسبة من جاراتها تتلقى من الضغط ما يجعلها تماسّ وهذا ما يجعل الصلد المزعوم يبلغ كثافة مذهلة . ويُبيّن الحساب أنّ هذه الكثافة في جوار وسط الشمس تبلغ ١٠٠ بالنسبة إلى الماء أيّ أن ليبراً من الشمس مأخوذاً من جوار المركز يزن ١٠٠ كيلوغرام . وهذا الوزن مستقلّ عن المادّة لأنّ هذه المادّة مفكّكة إلى جسيمات ولا تشكّل جسماً معيّناً بل خليطاً مغفلاً غير متميّز . وتلك، بمقابل حالة البلازما، هي المادّة في حالة الانحلال .

٥ . الأقزام البيضاء

إن حالة الشمس هذه هي حالة السواد الأعظم من النجوم . فالمادّة في داخلها على درجات متفاوتة من التأيّن والانضغاط نظراً إلى حرارتها، وقد بلغت درجات مختلفة من الانحلال . ولما كانت كثافة الشمس في الوسط تبلغ ١٠٠، فيكون معدّل كثافتها ١،٤١ ويمكن اعتبار هذا الكوكب على درجة منخفضة من الانحلال (فالليتر من نجم كروغر ٦٠ يزن ٥٠ كيلوغراماً) ونحن نعرف نجوماً يبلغ فيها الضغط أضعاف هذا المقدار .

وهذه هي حال النجوم المسمّاة « أقزاماً بيضاً » لأنها صغيرة الحجم وحارة إلى درجة أن نورها يميل إلى البياض . لقد استنفدت القسم الأكبر من وقودها حتى فرغت جزئيّاً وانهارت طبقاتها السطحيّة وضغطت بكل ثقلها على الطبقات الكامنة تحتها .

وأحد توابع نجم سيريوس الجميل مثال رائع للأقزام البيضاء . وهذا النجم قزم لأنّه أصغر من الشمس بثمانية ملايين قدر ولمعان سنتيمتر مربّع من سطحه يفوق لمعان المساحة ذاتها من سطح الشمس اربع مرار . لذلك فإنّ انهيار طبقاتها العليا يحدث في طبقاتها السفلى ضغطاً هائلاً . وليتر من هذه المادّة لا يزن ١,٤١ كلم حتى ولا ٥٠ كلغ بل ١٧٠ طنّاً !

ومع ذلك فحالة الانحلال هذه لا تبلغ رقماً قياسيّاً . وقد بيّن الفلكيّ السوفييتيّ أمبرتسوميان يوماً أن الضغط قد يفوق هذا المقدار بحيث أن وزن الليتر قد يتعدّى ١٠٠٠٠ طنّ . وفي هذه الحالة تبرز ظاهرة جديدة : فتتحوّل بروتونات النوى تدريجاً إلى نوترونات . وإذا زادت الكثافة أيضاً وبلغ وزن الليتر ٥٠٠٠ مليار طنّ مثلاً ، تتحوّل النوترونات بدورها إلى هيبرونات .

ومن الممكن أن تكون هذه الاعتبارات المذهلة قد صادفت بداية تحقيق : فقد كشفت مراقبات جرت بواسطة أجهزة فضائيّة عن بثّ قويّ لأشعّة سينيّة صادر عن بعض مناطق

المجرّة . وقد بيّنت الحسابات لفلكيّين أميركيّين أنها لا يمكن تكون صادرة إلاّ عن نجوم نوترونيّة لا يتعدّى قطرها ١٥ كيلومتراً لكتلة قريبة من كتلة الشمس . فتكون كثافة هذه المادّة تقرب من ٩٠ مليون طنّ للّيتر الواحد حتّى لولا تدخل الحرارة في الحساب . فهل نامل في الحصول على معلومات أوفى حول هذه العوالم المدهشة ؟ وهل يقدّر للفلكيّين أن يكتشفوا كراة أكثر غرابة من هذا لا تتألّف إلاّ من هيبرونات مثلا ؟ إن كواكب من هذه الأنوع ، لو كانت موجودة ، لظلّ العثور عليها بعيد الاحتمال لأن حقل جاذبيتها يكون مرعباً إلى حدّ أن إشعاعها ، وفاقاً لنظريّة النسبيّة المعمّمة ، يلتوى ويدور على ذاته دون أن يستطيع الانعتاق والوثوب في الفضاء ، وتظلّ هذه النجوم غير مرئيّة إلى ما لا نهاية له .

الفصل الرّابع

السماء في الضوء غير المنظور

سجن رجل منذ طفولته في برج ولم يكن لديه إلاّ كوّة صغيرة يستطيع أن ينظر من خلالها إلى الخارج . فماذا يرى من خلال هذه الفتحة الضيقة ؟ إنّه لا يرى إلاّ رقعة صغيرة من الأرض ومن السماء وبعض الغيوم التي تمرّ أمام ناظريه . وانطلاقاً من هذه الرؤيا البسيطة كوّن له فكرة عن العالم الخارجي وهي فكرة جزئية عن حقيقة لا يمكنه أن يتصوّر مدى تعقّدها .

ولكنّ حدثاً مهمّا قد حدث فقد اكتشف الرجل، هذه السنوات الأخيرة كوّة أخرى كشفت له عن منظر جديد، منظر يختلف عن الأوّل رأى فيه ماءً بدلاً من الجبال وأشجاراً بدلاً من السماء . فيا لها من ثورة أرغمت هذا الرجل على إعادة النظر في معلوماته وعلى الاعتراف بأن العالم لا يقتصر على هذا العالم الذي كان قد رآه إلى ذلك الحين .

لكن القضيّة لا تنتهي عند هذا الحدّ فقد شجعته تنقيباته وعثر على كوة ثالثة فرابعة وفي كلّ مرّة كان يبدو له العالم الخارجي بوجه جديد . فالعالم إذن أوسع بكثير وأكثر تنوّعاً .

ممّا كان يبدو ه وأصبح عليه أن يعيد النظر في مفاهيمه القديمة كلّها بحيث يصبح من الأفضل أن يكوّن له مفاهيم جديدة من أساسهـــــا .

١ . رسالة من النجوم : إشعاع الذرّة

لم يخف على القارئ أن هذا الأسير هو الإنسان . وقد تعوّد منذ وجوده على هذه الأرض أن لا يعرف من الكون إلاّ ما تراه عيناه وقد اكتفى حتّى الآن بهذه الرؤية وعليها بنى نظامه للعالم . ولم يكتف بهذا النظام وحسب ، بل إنّه لم يخطر له ببال إمكان وجود كوى أخرى تمكّنه من رؤية مناظر جديدة. فقد استعمل أوّلاً عينه المجرّدة ثم صنع المناظير وراح يسعى جاهداً إلى استقبال الرسالة التي تبعث بها إليه الكواكب عن طريق نورها ويحاول فكّ رموزها . وظلّ خلال ثلاثة قرون ونصف القرن روتينياً امتثالياً دون أن يفكّر في أن يتساءل عمّا إذا كانت لا تبعث إليه برسائل عن طريق آخر .

ولم يكتشف مدهوشاً إلا عند الحرب العالميّة الأخيرة كوّة كان يجهلها ، هي كوّة الموجات الكهربائيّة اللاسلكيّة وصلت إليه من خلالها ومن حيث لا يدري رسالة أضيفت إلى الرسالة الأولى .

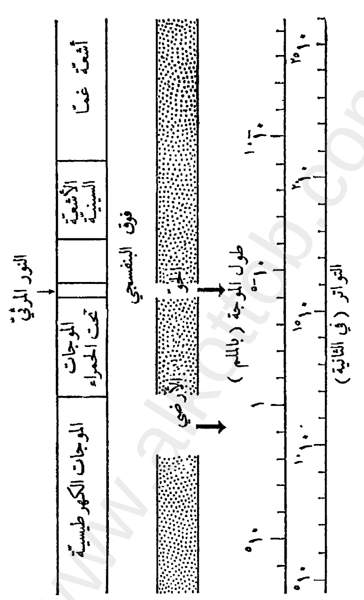
وقد سارت الأحداث منذ ذلك الحين بسرعة فائقة . وقد حضّه هذا الاكتشاف وتساءل : أفلن تصله صدفة مقاطع

من رسائل أخرى عن طريق موجات أخرى ؟ وقد لاحظ أن تساؤله في محلّه وجاءته هذه المقاطع عن طريق الموجات التحتحمراء والفوقبنفسجية . وأسرع عندئذ في القيام بجردة كاملة للطيف الكهرطيسيّ ، وأصبح سجيننا يفتح كوى جديدة حوله ويوسّعها بدلاً من أن يكتفي بالنظر من خلال كوّتين أو ثلاث .

٢ . من طرف سلّم الموجات إلى الطرف الآخر

لقد تكلّمنا في فصولنا الأولى عن الذرّة . وقد آن لنا أن نتكلّم الآن عن النجم . والعلاقة التي تربط ما بين هذين الطرفين للكون حقيقيّة ومتينة تجعل منها أكثر من مجرّد تناقض بسيط . أوّلا لأن النجم ، كأي شيء آخر ، مبنيّ من ذرّات كما يبنى البيت من حجارة . وثانياً لأن هذه الذرّة النجميّة هي التي تمكّننا من معرفة النجم بإرسالها إلينا موجاتها الكهرطيسيّة . ونحن لا نرى الكواكب إلاّ بفضل إشعاع ذرّاتها . وهذا الإشعاع هو الذي يشكّل الرسالة التي سطّر فيها تاريخها والذي بدأ العلماء يحلّون طلّسماتها .

ولنتذكّرنّ كيف ترسل الذرّة إشعاعها : عندما تُثار الذرّة وعندما يُقذف إلكترون أو أكثر من إلكتروناتها على مدار أبعد من مداره الأصليّ على النواة ثم يعود إلى مداره يبثّ « كمّاً » من الطاقة . وهذا « الكمّ هو فوتون » يكشف عن ذاته بواسطة موجة كهرطيسيّة ، وطول طفرة الإلكترون



شكل ٦ . – لا تستطيع الإشعاعات الكهرطيسية المختلفة اختراق جونا إلا من كوتين . يظهر في أسفل الشكل تواتر هذه هذه الإشعاعات وأطوال موجاتها .

هي التي تتعلّق بها الطاقة التي تحملها الموجة . وبقدر ما تكون الطفرة طويلة بقدر ذلك تكون الطاقة كبيرة .

وهذه الطاقة تقرّر بدورها تواتر الموجة . فطاقة تبلغ مليون إلكترون فلط مثلاً تفرض على هذه الموجة تواتراً يقرب من ١٠ ^٢٠ دوراً في الثانية وهذا ما يوافق طول موجة قصيرة جدّاً لا يتعدّى جزءاً من مليار جزء من الملّيمتر أي إشعاعاً سينيّاً . وبالعكس توافق طاقة قدرها ١/١٠٠٠ إلكترون فلط تواتراً يبلغ ١٠ ملايين دور في الثانية وموجة طولها متر ، أي موجة لاسلكيّة .

ولمّا كانت الذرّات تتعرّض لجميع أنواع الطفرات في إلكتروناتها فلا يمكن إلاّ أن تكون سلسلة الموجات متواصلة ولا حدّ لها نظريّاً في الاتجاهين . فأقصرها لا تبلغ ١٠ — ^١٥ ملم بينما تبلغ تواتراتها ١٠ ^٢٥ دوراً في الثانية وتقرب طاقتها من مليار إلكترون فلط : هذه هي أشعّة غمّا التي تبثّها نواة الذرّة ذاتها . أمّا أطولها فتمتدّ على كيلومترات عدّة وتنحدر إلى تواترات هي دون المائة دور في الثانية . أمّا طاقتها فتهبط إلى جزء من المليار من الإلكترون فلط : وهذه هي موجات الراديو .

ويظهر في الشكل ٦ السلّم الكهرطيسيّ ويلاحظ فيه القارئ ضيق المجال الذي يشغله النور المرئي . وفي الواقع إذا قارنّا هذا السلّم بمجموعة ملامس البيانو نستطيع القول

بأن المجال المرئي لا يشغل منه إلاّ ملمساً واحداً في حين أن المجال اللاسلكيّ الكهربائي يشغل منه اثني عشر ملمساً على الأقلّ وأن المجموع يمتد على نحو من خمسين ملمساً . وهكذا نلمس لمس اليد ضيق « الكوّة » البصريّة ومدى المكاسب التي حققها في معرفتنا للكون اكتشاف الكوّة الكهربائيّة اللاسلكيّة – بانتظار الكوّة فوق البنفسجيّة وكوّة غمّا التي يسعى علماء الفلك إلى توسيعهما .

٣ . جدار الجوّ

لا بدّ هنا من أن نطرح السؤال التالي : لماذا يصل الينا الطيف الكهرطيسيّ مبتوراً ؟ لماذا لا تسمح لنا الطبيعة بأن ننظر إلى الخارج إلاّ من خلال النافذة الضوئيّة ؟ لماذا تعترض العلم صعوبات جمّة عندما يحاول أن يفتح نوافذ للموجات الهرتزيّة والموجات فوق البنفسجية والموجات السينيّة وموجات غمّا ؟ وبتعبير آخر ، ما هو الجدار الذي يحجب عنا الكون الخارجيّ ؟

إن هذا الجدار هو الجوّ طبعاً . وهو الذي يحصرنا في شبه سجن فلا يمكّننا من رؤية ما يوجد خارج هذا السجن إلاّ من خلال نوافذ ضيّقة . ونحن لا نتكلّم هنا عمّا يعتري نور الكواكب من ضعف من جرّاء غيومه وضبابه وغباره فيؤثّر هذا الضعف على امتداد الطيف بل نقصد بذلك ما تقتطعه

مناطقه المختلفة أو مركّباته المختلفة، من مختلف أطوال موجاته، وهو من أصل فيزيائي وكيميائي .

وهكذا لا يصلنا شيء البتّة من الأشعّة السينيّة وأشعة غمّا التي تبثّها النجوم . فلمّا كانت هذه الموجات سريعة العطب للغاية تتوقف جميعها عند وصولها إلى الجوّ أي عند دخولها الطبقة المؤيّنة . وهذا ما يحدث أيضاً للقسم الأكبر من الموجات فوق البنفسجيّة . ولئن كان قسم من هذا الإشعاع يفلح في اختراق الجوّ المؤيّن فإن طبقة الأوزون توقفه قبل بلوغه سطح الأرض . ولا يرفع الستار إلا أمام الموجات الضوئيّة من البنفسجيّة إلى الحمراء لكنّه سرعان ما ينسدل في وجه الموجات تحت الحمراء التي يمتصها بخار الماء والغاز الفحميّ الموجودان في الهواء . ولا يبقى في الجدار بعد ذلك إلاّ فتحة واحدة تتسرّب من خلالها الموجات اللاسلكيّة القصيرة التي تتراوح أطوالها بين الملّيمتر الواحد والستين مترا . أمّا الموجات التي يتعدّى طولها هذا القدر فلا يصلنا منها شيء .

أو بالأحرى لا يصلنا شيء لولا أن العلم لم يتوصّل إلى طريقة مكّنته من تجنّب العقبة و « تسلّق الجدار » أي أن يذهب إلى ملاقاة هذه الموجات قبل أن تصطدم بالجو . فكيف توصّل إلى ذلك ؟ بارسال آلاته المسجّلة إلى أعلى ارتفاع ممكن وبالتقاط الإشعاعات خلال عبورها الفراغ — أو ما يشبه الفراغ .

وقد جرت العمليّة الأولى من هذا النوع بواسطة المنطاد . فمنذ عام ١٩٥٤ صعد الفرنسيّ أودوين دولفوس إلى ارتفاع ٧٠٠٠ متر ليراقب الطيف الشمسيّ الخالص من تأثير بخار الماء . وبعد ذلك بخمس سنوات صعد أميركيّان إلى ارتفاع ٢٤٠٠٠ م لدراسة طيف الزهرة . وفي الوقت ذاته استعملت الولايات المتّحدة بين عامي ١٩٥٧ و ١٩٦١ منطاداً بدون سائق وصل إلى ارتفاع ٢٧٠٠٠ م حاملاً آلات مسجّلة . لكن هذا الارتفاع لم يكن كافياً ، وقد عدل علماء الفلك عن جميع هذه الطرائق بعد ما بدأت حملة على نطاق واسع للدراسة بواسطة الصواريخ والأجهزة الفضائيّة المختلفة .

وقد تركت هذه الأجهزة الفضائيّة التي وصلت إلى القمر وبلغ بعضها جوار الشمس الجوّ بكلّيته بعيداً وراءها . ففي الفضاء الذي تجوبـــه لا يخشى اقتطاع الاشعاعات الدقيقة ويصبح بالإمكان الحصول على الطيف الكهرطيسيّ بكامله . وسنرى الآن كيف استغل العلم هذا الوضع لتوسيع نطاق استكشافاته.

عندما تكون كوّتان متقاربتين أوّل عمل يقوم به السجين هو أن يجعل منهما كوّة واحدة بهدم الجدار الفاصل بينهما . ويلاحظ القارئ أنه يوجد في الشكل ٦ فتحتان متتابعتان : فتحة النور وفتحة الموجات اللاسلكيّة القصيرة . وقد استرعت انتباه علماء الفيزياء الأرضيّة الموجات المجهولة التي تفصل

بينهما ــ وهي مجهولة لأن الجوّ يحول دون عبورها . وكل ما كانوا يعرفونه هو أن طول هذه الموجات لا بدّ من أن يكون متراوحاً بين بضعة مليّمترات وجزء من المليّمتر . غير أن التحسينات التي أدخلت على الإلكترونيّة مكّنت من تحسين تقنيّة اللاسلكيّ بحيث أصبحت قادرة على التقاط أطول هذه الموجات بواسطة هوائيّات بشكل مكافئ دورانيّ . وهكذا تمكّن العلماء من الحصول بواسطة موجات يقرب طولها من ٤ مليّمترات، على معلومات مكّنت، حتى أوّل هبوط على القمر من معرفة حرارة سطح هذا الكوكب كما مكّنت « فينوس ٧ » السوفيتيّة من معرفة حرارة سطح الزهرة (١٩٧١) . ولسوء الحظّ عندما حاول علماء الفلك تطبيق الطريقة ذاتها على موجات أقصر تتراوح بين ملم و ١/١٠ ملم اصطدموا بعدم نفاذيّة مطلقة في الجوّ . والموجات الصادرة عن الشمس ذاتها بدت عاجزة عن اختراق هذا الجدار . والفلكيّون الذين أرادوا التقاط بعض آثارها رأوا أنفسهم مجبرين على بناء مراصدهم في أعالي الجبال كمرصد يونغفراو في سويسرا . وهذا التأثر بامتصاص بخار الماء والاكسيجين والآزوت هو الذي يحول دون تطبيقاتها العمليّة في المواصلات البعيدة مثلاً . أمّا اليوم فليس من المستبعد التغلّب قريباً على هذه العقبة بفضل الليزر .

٤ . علم الفلك بالأشعّة تحت الحمراء

الأشعّة تحت الحمراء هي الحدّ الفاصل بين القطاع الهرتزيّ والقطاع البصريّ . وهي تشغل منطقة خلاسيّة يخضع قسم منها لعلم الفلك الإشعاعيّ والقسم الآخر للفيزياء الفلكيّة الكلاسيكية ولكنّها منطقة لا يستهان بها لأن هذا النوع من الإشعاع بين ١ ملم أو ١ µ (µ = ١/٠٠٠ ملم) من طول الموجة يأتينا بمعلومات وافرة حول وجود بخار الماء والغاز الفحميّ في الكواكب .

وأوّل شرط لمراقبة الأشعّة تحت الحمراء هو الارتفاع بقدر الإمكان فوق طبقات الجوّ الماصّة . والشرط الثاني هو استخدام مكاشف حسّاسة للغاية . وهكذا بعد أن استعمل الفلكيّون مزدوجات حراريّة يستعملون اليوم خلايا كبريتور الرصاص التي تفوق حسّاسيّتها ألف مرّة حساسيّة الأولى وخلايا الجرمانيوم المبرّدة أو خلايا الهيليوم السائل . وخير مردود لهذه الآلات يحصل في طبقات الجوّ العليا بواسطة المناطيد مثلاً . وبهذه الطريقة تمكّن الأميركي كويبر بعد فحص طيفها تحت الأحمر من التأكيد بأن الثلوج تغطّي تابعين كبيرين من توابع المشتري كما تغطّي حلقة زحل .

أما دراسة أشعّة ما تحت الحمراء على الشمس، حيث النور المتوافر، فتمّ عن طريق الدراسة الطيفيّة العاديّة كما فعل الفرنسيّ دازمبوجا لتصوير حزوز الهيليوم . وقد أدت

دراسة ما تحت الأحمر في القمر إلى اكتشاف غريب هو اكتشاف «نقاط حارّة» عدّة في مدرّجات تيكو وكوبرينكس واريستارخس. ولعلّها مظهر جديد من مظاهر النشاط البركاني الضعيف الذي كشف عنه السوفييّ كوزيريف.

٥ . أهم الإشعاعات : الإشعاعات التي لا ترى

يمكننا أن نقسم الطيف الكهرطيسيّ إلى شطرين : شطر الموجات التي هي أطول من الموجات الضوئيّة وشطر الموجات التي هي أقصر منها. والضوء هو شطر الإشعاعات الهرتزيّة وتحت الحمراء والمليمتريّة. أما الثاني، فهو شطر ما فوق البنفسجيّ والأشعة السينيّة وأشعّة غمّا. والآن وقد اكتشف العلم طريقة لفتح نوافذ جديدة والتقاط الموجات التي كان الجوّ يحجبها عنه في ما مضى، فمن الطبيعيّ أن يبدي نشاطاً حماسيّاً للحصول على أكبر كميّة ممكنة من المعلومات. والواقع أنه يحصل في القسم القصير من الطيف على كميّة تفوق الكميّة التي يحصل عليها في القسم الطويل.

لماذا ؟ إذا ألقينا نظرة على مينا جهاز الاستقبال اللاسلكيّ نلاحظ أنّ الأقسام التي تدل على التواترات (أو أطوال الموجات) تتكاثر وتتقارب كلّما زاد التواتر وتناقص في الجهة الثانية. ففي مسافة واحدة من شريط التواتر يزداد ضيق المحلّ الذي يحتلّه الجهاز المرسل كلّما ازداد التواتر. لذلك يسعى اختصاصيّو المواصلات البعيدة إلى استعمال

موجات أقصر فأقصر . فللموجات تحت المليمترية مثلاً تواتر مرتفع إلى درجة أنّه يصبح بالإمكان أن توضع فيها أشرطة تحتوي على ما يقرب من ثلاثمائة كلمة من أجهزتنا المرسلة العادية . و هذا يعني أن الموجات بقدر ما تكون قصيرة بقدر ذلك تكبر كميّة المعلومات التي تستطيع نقلها . فليس غريباً والحالة هذه أن نلحظ النشاط الذي يبديه علماء الفلك حول موجات متزايدة في القصر وحول النور المرئي بواسطة أشعة غمّا .

وبخاصّة إذا تذكّرنا أن طول موجة ما فوق البنفسجي الذي يتراوح بين ٠,٣٩ µ و ٠,٠١µ ، هي أقصر من الموجة الضوئية بمقدارين ونصف المقدار تقريباً، نفهم كون هذه الموجة تحت البنفسجيّة تؤمن للعلماء كميّة من المعلومات تفوق كلّ ما حصلوا عليه في المجال البصريّ منذ عهد غليليو.

٦ . الفلك بموجات ما فوق البنفسجية

فما هي يا ترى هذه المعلومات التي يحصلون عليها ؟ إن ما يبدو منها واضحاً للعيان في الدرجة الأولى هو حرارة الينبوع الضوئيّ . وشدّة ما فوق البنفسجيّ في طيف هذه الينابيع هي خير ميزان للحرارة . فإذا كانت الحرارة السطحيّة لنجمين ٤٥٠٠° و ٥٠٠٠° مثلاً يبلغ لمعان الثانية ضعفي

لمعان الأولى تقريباً، لكنّه يبلغ مائة ضعف من أضعافه في ما فوق البنفسجيّ . فهل نجد ميزان حرارة يبلغ هذا القدر من الحساسيّة ؟

ولدينا من ناحية ثانية، نوع آخر من المعلومات يتعلّق بآليّة الذرّة : إننا نعرف هذه الآلية معرفة تقريبيّة ونعرف بوجه خاصّ كيف تبثّ الذرّة إشعاعاتها . ولما كانت أقصر هذه الإشعاعات هي التي تأتينا بأكبر كميّة من المعلومات ينجم عن ذلك أن منطقة ما فوق البنفسجي من الطيف هي التي تخبّئ أهم أسرار المادّة .

وهذه الملاحظة تنطبق بنوع خاصّ على الهيدروجين الذي هو أكثر العناصر انتشاراً في الكون . ووجوده في النجوم وفي الشمس يكشف عن ذلك بسلسلة من الحزوز في الطيف تسمّى « مسلسلة بالمر » وبسلسلة أخرى هي « مسلسلة ليمن » في ما فوق البنفسجيّ، التي تأتينا بمعلومات لا عن سطح الشمس حتى ولا عن داخلها بل عن الطبقات الغازيّة التي تغطّيها والتي تشكّل « الطبقة العاكسة » في الجزء السفليّ من جوّ الشمس . والمزعج في هذا النوع من الدراسات هو أن موجات ما فوق البنفسجيّ لا تخترق طبقة الأوزون الجويّة فلا بدّ من الارتفاع فوق هذه الطبقة لالتقاطها، وذلك بواسطة الصواريخ. ولمّا لم يكن الزجاج شفّافاً بالنسبة لها تستعمل أجهزة بصريّة بفليورور الكلسيوم أو الليتيوم .

وأولى الملاحظات التي قام بها الفلكيّون بواسطة الصواريخ هي ملاحظة الضيائيّة الليليّة. وتظهر هذه الضيائيّة — في طيفها وهي قريبة من ضيائيّة شمعة على مسافة ١٠ أمتار — حزّاً بارزاً من مسلسلة لَيمن. ويرى الأميركيّ ف. س. جونسون أن هذه الظاهرة قد توحي بوجود جوّ من الهيدروجين حول الأرض يمتدّ إلى مسافة تقرب من ٦٠٠٠٠ كلم.

وقد أدّى علم الفلك بموجات ما فوق البنفسجيّ إلى اكتشاف في النجوم يثير الدهشة. وهو يتعلّق بالنجوم الحارّة، وهي منتجة كبيرة لموجات ما فوق البنفسجيّ، فلا بدّ إذن، كما رأينا منذ هنيهة أن يكون فيها هذا الجزء الطيفي من الإشعاع شديداً جدّاً. والواقع أن الملاحظة لا تبيّن شيئاً من ذلك بل تظهر بالعكس أن هذه الشدّة أخفّ بكثير مما كانت النظريّة تحمل على توقّعه.

فكيف نفسّر هذا الامر الغريب؟ لقد اقترح الفلكيّ الفرنسيّ ج. — ك. بكّر، في عام ١٩٦٠، أن يُعزي ذلك إلى وجود غيوم من الغبار حول هذه النجوم تمتصّ موجات ما فوق البنفسجيّ وتوقفها. فاذا تحقّق هذا التفسير يجب الاعتقاد بأن إشعاع ما فوق البنفسجيّ للنجوم لا يتوغل في الفضاء بقدر ما كان يعتقده الفلكيّون وبأنّ القسم المؤيّن من هيدروجين ما بين الكواكب هو بالتالي أقلّ مما كان يعتقد عادة. ويجب التسليم أيضاً بأن حرارة النجوم الحارّة المقدّرة

نظريّاً بدرجة ما فوق البنفسجيّ في طيفها مبالغ في تقديرها ... وليس من الصعب تصور النتائج التي قد تؤدي إليها إعادة النظر هذه .

٧. في حدود ما بين فوق البنفسجيّ والأشعّة السينيّـة

يظهر في الشكل ٦ أن مجال ما فوق البنفسجيّ في السلّم الكهرطيسي أوسع بكثير من المجال المرئيّ . ونستنتج من ذلك أن الفيزيائيّين في الأمس قد أخطأوا في تقدير عامل « النور » في الكون . وفي الواقع ليس له إلاّ الأهميّة التي تنسبها إليه أعيننا . أمّا عامل « ما فوق البنفسجيّ » ، فهو أهمّ منه بكثير وعمله أقوى إلى حدّ بعيد . ولنتذكّر أن العامل الأوّل لا يشغل إلا ملمساً واحـــداً بينما يشغل العامل الثاني خمسة ملامس على الأقلّ . وفي الواقع إذاً أطول موجاته تختلط بأقصر موجات البنفسجيّ فإن اقصرها لا تتميّز عن موجات السينيّة التي تليها مباشرة . ويقع الحد في جوار الموجة التي يبلغ طولها ٠,٠٠١µ بحيث أن أقصى طرف هذا القطاع يتمتّع بخواصّ ما فوق بنفسجي « قاس » للغاية وخواص إشعاع سينيّ « رخو » . ومن الطبيعيّ أنّه لا يمكن ملاحظة هذه الموجات من خلال موشور بل ينبغي عكسها على شبكة .

فهذا الإشعاع « ما فوق البنفسجيّ البعيد » في الطيف الشمسيّ هو الذي كُلّفت صواريخ عدّة استكشافه في الفضاء.

وتمكّن هذه الملاحظات من تصوير عدد كبير من حزوزه، ولاسيّما حزوز مسلسلة ليمن. ويتيح ذلك التثبّت من الحرارة المرتفعة في الإكليل الشمسيّ ثم تقدير نسبة الهيدروجين الراكد في فضاء ما بين الكواكب.

٨. السماء بالأشعّة السينيّة

لقد أصبحت الآن العلاقة التي تربط الذرّة بالنجم مألوفة لدينا، وهذه العلاقة هي الإشعاع: وإذا كانت الشمس تشعّ فالفضل في ذلك يرجع إلى ذرّاتها. وقد ألفنا أيضا طريقة بثّ الذرّات لإشعاعها، أي لطفرات الإلكترونات التي تحدّد سعتها طاقة الكمّ المبثوث.

ونحن الآن نسير خطوة إلى الأمام في داخل هذه الآلية مذكّرين بأنّ لون الإشعاع يخضع لطاقة الكمّ. هنا الاختبار يوميّ: فبقدر ما يكون الجسم مشحوناً بالطاقة، أي بقدر ما يكون حارّاً مثلاً، بقدر ذلك يقرب لونه من أطوال الموجات القصيرة. والجسم المحميّ حتّى البياض أرفع حرارة من الجسم المحميّ حتّى الاحمرار. غير أن طرائق التدفئة المسكنيّة التي لدينا لا تتعدّى الحرارة الحمراء. أما النجوم، في بعض اقسامها على الأقلّ، فتبلغ حرارتها بسهولة مليون درجة. لذلك لا عجب في أن يكون اللون المسيطر في بثّها يقع في منطقة ما فوق البنفسجيّ وأن يتعدّاها ليحتل قطاع الأشعّة السينيّة.

ولو كانت أعيننا تتأثر بجميع إشعاعات الطيف لبدت لنا السماء بمظهر غريب . فالنجوم تكاد لا ترى والشمس تظهر لنا بشكل قرص شاحب مصفرّ اللون . أما إكليلها فيتّخذ في الأشعّة السينيّة لمعاناً لا تقوى العين على احتماله . وكثير من الكواكب التي نجهلها تظهر لنا بكلّ بهائها بالاشعّة السينيّة بالرغم من فقرها بالإشعاعات المرئيّة . ولمّا كانت هذه الأشعّة صادرة في الدرجة الأولى عن الهيدروجين المرتفع الحرارة تصبح الطبيعة بأسرها حولنا مضاءة بالأشعّة السينيّة وتضيء السماء الليليّة مجرّات هائلة .

ويبيّن الشكل ٦ اتّساع نطاق الاشعة السينيّة في الطيف : فهو أوسع من قطاع ما فوق البنفسجيّ ويتراوح بين ١٠ - ٦ ملم و١٠ - ٩ ملم . ولسوء الحظ لا يخضع علم الفلك السينيّ الذي نشأ عنهما للطرائق الكلاسيكيّة . ولا يقتصر الأمر على كون هذا الإشعاع لا يمكن التقاطه إلاّ خارجاً عن الجوّ، بل إنه لا ينعكس ولا ينكسر . لذلك يتمّ تسجيله كما تسجّل عادة الإشعاعات المؤيّنة ، أي بالتقاطه في عدّادات جيجر التي تنخبه وفاقاً لطاقته وتمكّن هكذا من معرفة تواتره وطول موجته .

٩ . ما يكشف عنه علم الفلك السينيّ

ما يزال علم الفلك السينيّ في المهد ولا ينتظر أن يكون قد أحدث ثورة في معرفتنا بالسماء . لكنّه قد وضع علامات

استفهام عدّة وأثار مشكلات ضخمة . فإكليل الشمس هو مركز الإشعاع السينيّ وقد توصّلت آلات تصوير خاصّة أرسلت في الصواريخ أو في الأقمار الاصطناعية إلى التقاط صور له . وقد أثبتت المراقبة، كما كان منتظراً، أن غزارة الإشعاع تزداد عندما يبلغ نشاط الشمس حدّه الأعلى أو عند ثوراناته .

ولمّا لم تكن الشمس إلاّ نجماً من النجوم فمن الطبيعيّ أن تبثّ النجوم الأخرى إشعاعاً سينيّاً، لكن البعد يحول دون مراقبة هذا الإشعاع . ولربما كان بالإمكان أن نعزو إليه تلك الخلفيّة المنتشرة التي التقطها الباحثون الأميركيّون عند استكشافهم لمجمل السماء، دون أن نستطيع الجزم بأن هذه الخلفيّة تعود إلى نجوم المجرّات أو إلى عالم ما وراء المجرّات أو إلى الطبقات العليا من الجوّ الأرضي .

لقـــد وصفنا المشكلات التي أثارها علم الفلك السينيّ بقولنا انها « ضخمة » . وعلى القارئ أن يحكم الآن على مدى مطابقة هذا الوصف للواقع .

في ٢٩ من نيسان من عام ١٩٦٣ أطلق مختبر البحوث البحريّة في الولايات المتّحدة صاروخاً مجهّزاً لالتقاط الأشعّة السينيّة السماويّة . وخلال الدقائق الأربع التي استغرقها طيرانه كشف عن مصدرين فرديّين للإشعاع ، في الخلفيّة المنتشرة ، أحدهما في صورة العقرب والثاني في صورة السرطان .

وسديم السرطان هذا من معارف الفلكيّين القدماء، وهو كلّ ما تبقّى من نجم جديد فائق التوهّج انفجر عام ١٠٥٤ ويرى فيه الفلكيّون مصدراً لاسلكيّاً قويّاً معروفاً حق المعرفة . وهو يقع على مسافة ٥٠٠٠ سنة ضوئيّة . ولئن كان إدراك إشعاعه السينيّ على هذا البعد ممّا يلفت النظر ، فإنّ ما يدعو إلى الدهشة هو كون إشعاع العقرب يفوقه بثمانية أضعاف ، لاسيّما وإن المرقاب لا يلتقط في موضعه سوى نجم ضعيف وإن إشعاعه السينيّ يفوق إشعاعه البصريّ ١٠٠ مقدار .

غير أنّ السنوات الأخيرة قد قطعت بعلم الفلك السينيّ أشواطاً بعيدة . وقد علّمتنا أن هذا النوع من الإشعاع يصدر إمّا عن بقايا نجم جديد فائق التوهّج ، كما في الحالة الّتي أتينا على ذكرها ، إمّا عن نجم كما يحدث ذلك بالنسبة إلى العقرب ، أو عن مجرة لاسلكيّة متّحدة مع كازار أو مع بلسار . ألم يُكتشف في عام ١٩٦٨ أن المرسل السيني في مجرّة السرطان ليس إلاّ بلساراً يبثّ طاقته بدفعات تحوي كلّ دفعة منها من الطاقة الكهربائيّة بقدر ما تستطيع جميع محطّاتنا الأرضيّة أن تنتجه خلال ١٠ ملايين سنة ؟

أمّا آليّة هذه الإشعاعات السينيّة، فيمكن أن تقوم إن لم يكن ذلك على إشعاع الجسم الأسود (الذي يقتضي حرارة تبلغ عشرات ملايين الدرجات) ، فيقوم على الأقلّ على « الإشعاع السنكروتروني الناجم عن تحرّكات إلكترونات شبيهة

بالإلكترونات التي تحصل في هذا الجهاز ولعلّه يعود أيضاً إلى ظاهرات أخرى لم يوضّح بعد توضيحاً كافياً .

١٠ . مولود جديد : علم الفلك الغمّي

لقد انحدرنا السلم الكهرطيسي من الموجات الفائقة الطول إلى موجات الأشعّة السينيّة المفرطة في القصر ولاحظنا أن العلم وجد اليوم طريقة استخدام من طرف إلى آخر تقريباً . ولما كان كلّ من هذه القطاعات ينمّ عن صفة خاصّة من صفات المادّة. نشأ لكل صفة من هذه الصفات في علم الفلك فرع خاصّ . وهكذا تمكّن الفلكيّون من البدء في استكشاف الإشعاعات التي تبثّها المادّة بالتتابع كلّما ارتفعت حرارتها .

فحرارة الجسم الذي يحمى حتّى الاحمرار تتراوح بين ٤٠٠٠° و ٥٠٠٠° . وإذا كانت خاصّة طيفه الغالبة هي ما فوق البنفسجيّ فذلك يعني أن حرارته قد بلغت ١٥٠٠٠° . وعندما تبلغ بضع مئات الآلاف من الدرجات تنتقل إلى القطاع السينيّ . ولمّا لم يكن ثمّة من مبرّر لتوقفنا عند هذا الحدّ ، نستطيع منطقيّاً أن نفترض أن الحرارة تتابع الارتفاع ويصبح على الجسم أن يبثّ إشعاعاً يتعدّى القطاع السينيّ ويقع في قطاع غمّا . إن ذلك يتطلّب في الواقع ملايين وعشرات ملايين الدرجات ، ولكننا نعلم أن هذا الأمر عاديّ في بعض أجواء عالم الأفلاك في بعض الظروف . ذلك ليس ما يحول دون نشوء

علم فلك غمّي بعد علم الفلك السيني. وفي الواقع إن هذا العلم قد وُجد وقد بدأ يعطي ثماره.

ويختلف علم الفلك الغمّي عن علوم الفلك الأخرى كل الاختلاف — لأنّ أشعّة غمّا من أصل يختلف عن أصل المركّبات الطيفيّة الأخرى. ولما كانت الأشعّة السينيّة تنشأ عن الإلكترونات الداخليّة التي هي أقرب ما يكون من الذرّة، فلا يمكن أن تصدر أشعّة غمّا إلاّ عن داخل الحرم النوويّ. أي أنّه يتوجب علينا أن نبحث عن مصدرها في إحدى الظاهرات التي تتعرّض لها النواة ذاتها والتي تكلّمنا عنها، كالانغلاق أو الاندماج أو الاصطدام أو التقاء بروتونات بمضاداتها ممّا يفضي إلى إبادة كتل من المادّة ومن مضاداتها. والغريب في الأمر أن بعض أطياف غمّا تبدو بشكل حزوز فيحمل ذلك على استنتاج كون الاشعاع ناجماً، في هذه الحالة، عن طفرات نوويّات بين مستويات من الطاقة في داخل النـــوى!

إن مدى سلّم غمّا في الطيف يبدأ في جوار الموجة التي يبلغ طولها ١٠ – ٧ أي أنها تُطفّ على قسم من قطاع الأشعّة السينيّة «القاسية» ثم تنطلق نحو أطوال موجه دون ١٠ – ١٥. وطرف هذا السلّم المجاور للأشعّة السينيّة هو مجال الظاهرات النوويّة العاديّة التي تطلق طاقة تفوق ٥٠٠٠٠ الكترون فلط للكمّ الواحد. أمّا الطرف الآخر الذي يطلق ملايين ملايين

الالكترون فلطات تظهر بخاصّة عندما تحدث تكوين مادّة، وهذا ما يفسّر الأهميّة الكبرى التي يعلّقها عليها علماء الفيزياء النوويّة وعلماء الفيزياء الفلكيّة.

١١ . إشعاع غمّا في الكواكب

لمّا كان الهواء يمتص إشعاع غمّا الصادر عن الكواكب فمن الواضح أنّه لا يمكن التقاط هذا الإشعاع إلاّ بواسطة الصواريخ. ولا يوجد أي وجه شبه بين الآلات المعدّة لالتقاطه والمناظير البصريّة، فهذه الآلات ترتكز على الخاصيّة التي تمكنها إحداث إلكترون أو بوزيترون عندما تصطدم بذرّة ثقيلة، وهذه الإلكترونات والبوزيترونات هي التي تسجّل.

فما هي مصادر أشعّة غمّا التي تظهر هكذا في السماء؟ إن أوّل مصدر هو طبعاً الشمس — عندما يحدث فيها ثوران، على الأقلّ. وقد توصّل العلماء الأميركيّون، في مناسبتين مختلفتين، إلى تقدير الدفق الذي قدّروه بمائة فوتون غمّا في المتر المربّع وفي الثانية (آخذين بعين الاعتبار المسافة التي تفصل الشمس عن الأرض). والمصدر الثاني هو، مبدأيّاً، النجوم. وفي الواقع إن البعد يجعل إشعاع غمّا الصادر عن النجوم متعذّر التمييز كما هي الحال في الأشعّة السينيّة. غير أن دفقاً من هذا النوع — يبلغ ١٠ ¹⁴ الكترون فلط — قد التُقط في اتجاه وسط المجرّة، فباستطاعتنا أن نعزو أصله إلى التكتّل الهائل للأجرام السماويّة المتجمّعة في هذا المركز.

ويبدو واضحاً أيضاً أن النجوم الجديدة الفائقة التألق لا بدّ أن تكون مولدات قويّة لاشعاعات غمّا . ويكفي للتسليم بذلك أن نفكّر بالتفاعلات النوويّة التي تحدث فيها باستمرار بوصفها مفاعلات جبّارة . وفي الواقع توصّل الفلكيّون في عام ١٩٦٨ إلى الكشف في سديم السرطان عن وجود مصدر دوريّ لأشعّة غمّا المرتفعة الطاقة (تفوق طاقتها ٥٠ ميغا إلكترون فلط) ، تعادل مدّة ذبذبتها مدّة ذبذبة الاشعّة البصريّة والأشعّة اللاسلكيّة والأشعة السينيّة لهذا الكوكب .

ولا ينتهي حساب العلم الفلكيّ الجديد بهذا الاستعراض السريع لمصادر أشعّة غمّا المعروفة أو المفترضة ، فهو يحتمل أيضاً نتائج نظريّة مهمّة — منها احتمال انهيار افتراض فريد هويل القائل بأن الكون يتجدّد باستمرار عن طريق خلق المادّة . غير أن علم الفلك الغمّيّ ما يزال في المهد ولا يتجاسر على صيغة نتائج قطعيّة . ولعلّ الطبعة القادمة لهذا الكتاب ستمكّن من توضيحها واستكمالها .

١٢ . علم فلك النوترينو : نظرة في داخل الكواكب

لئن كانت الأشعّة التي نتلقّاها من الكواكب تغذّي فروعاً مختلفة من علم الفلك كعلم الفلك البصري وعلم الفلك الغمّيّ أو علم فلك ما تحت الأحمر أو علم الفلك السيني ، فهي جميعاً تعالج إشعاعاً كهرطيسيّاً واحداً لا يختلف إلا بطول موجاته . وكل معرفتنا للطبيعة ترتكز على استغلال هذا

الإشعاع . أما إذا كانت ثمّة إشعاعات من نوع آخر فهي ما تزال مجهولة لدينا حتى الآن .

لكنّ ثمّة حالة شاذّة : فنحن نتلقى من السماء سيلاً لا كهرطيسيّاً بل جسيميّاً، سيلاً من الجسيمات التي تدعى « نوترينات » . لذلك نشهد ولادة نوع آخر من أنواع علم الفلك هو علم الفلك « النوترينيّ » الذي يختلف عن العلوم الأخرى ويبدو أنه قادر على مدّنا بمعلومات جديدة .

إن النوترينو جسم بدائيّ ومع ذلك لا يمكن تشبيهه بالإلكترون أو بالبروتون، أوّلا لأن اكتشافه لم يكن نتيجة للملاحظة بل للاستنتاج النظريّ : فلما كانت بعض ظاهرات النشاط الإشعاعيّ تبدو، منذ ما يقرب من ثلاثين سنة، متناقضة مع مبدإ حفظ الطاقة العامّ، لم يستطع العلماء تعليل هذا التناقض إلاّ بتصوّرهم جزءاً من هذه الطاقة منقولا بواسطة جسيم اختلقوه اختلاقاً . وأطلقوا اسم النوترينو على هذا الجسيم الطيف الذي أدهشهم أن يلتقطوه في الواقع بعد ما يقرب من عشرين سنة من البحث .

ويختلف هذا الجسيم أيضاً عن الجسيمات الأخرى للسبب الآتي : إنه محايد وعادم الكتلة، وهو من الصغر بحيث لا يمكن امتصاصه بشكل من الأشكال . وهو قادر، خلافاً لجميع الجسيمات البدائيّة، على اختراق أيّة سماكة لأيّ جسم مهما كان كثيفاً دون أن تخفّ سرعته أو يحيد عن سيره، حتى

ولو كان هذا الجسم، كما قال العالم الذرّي بونتيكورفو، « صحيفة من الحديد المصبوب تفوق سماكته ملايين أضعاف المسافة بين الأرض والشمس »... وهذا يعني أن كل الأجسام شفّافة بالنسبة إلى تيّار من النوترينات، حتى الأرض وجسم الإنسان ذاتهما.

إن هذه الخاصيّة الغريبة قد تحمل على الدهشة، ولكن العلم مع ذلك قد أعطى عنها البراهين الساطعة وتوصل إلى أكثر من ذلك، فالنوترينو لم يدخل حقل العلم الاختباري وحسب بل انّه تضاعف— أي أن العلماء تعرّفوا إلى وجود نوعين من النوترينات ... ونوعين من مضادّاتها ... ولا تخفى القارئ جدّة هذا الأمر كما لا يخفاه ما أدخله هذا المولود الغريب من التعقيد في حقل الفيزياء النوويّة. والمهم، في الموضوع الذي يشغلنا هنا، هو أن النوترينو يقيم، على غرار الإشعاعات الكهرطيسيّة، علاقة إضافيّة بين الذرّة والنجم. فهو يولد، كما تولد الإشعاعات الأخرى في داخل الذرّة — وبتعبير أدق في نواتها — ويأتينا، بدوره، بمعلومات عن مصدره وعن حوادث سفره. أمّا الفارق الذي يجعل لعلم الفلك النوتريني قيمته، فهو أنّ النوترينات تصدر عن داخل النجوم بينما تصدر الموجات الكهرطيسيّة عن طبقاتها السطحيّة. وبتعبير آخر، يمكّننا علم الفلك النوتريني من الرؤية من خلال الشمس ومن الولوج إلى قلب الكواكب.

بقي علينا أن نعلم كيف يتمّ التوصل إلى هذا الكائن الغريب ما دمنا لا نستطيع إيقافه ! لقد اكتشف العلم طريقة لذلك باستغلال ميل النوترينو إلى النوترون . فهو يعمل على جذبه من قبل النوترون وتركيبه معه ويتثبّت بهذه الطريقة من وجوده . ويتم ذلك مثلاً بارغامه على المرور في إناء يحتوي على النظير ٣٧ للكلور الذي يبدو مشغوفاً به . وبهذه الطريقة بالذات لا يتعدّى احتمال العثور على وحدة منه في الثانية ٤ × ١٠ – ٣٥ أي أننا نحتاج إلى كميّة هائلة من النوترونات إذا أردنا أن نرفع هذا الاحتمال إلى مستوى معقول . وقد بيّن مؤخّراً الفيزيائيّ الأميركيّ دايفس أننا إذا أردنا تسجيل نوترينو واحد في اليوم نحتاج إلى ما لا يقل عن ١٠ ٣٠ ذرّة من الكلور ... والمكشاف الذي وضع تصميمه صهريج اسطوانيّ الشكل قطره ٦ أمتار وطوله ١٢ متراً يملأ كاشفاً ويقوم العمل فيه على البحث عن ما يقرب من ١٠٠ ذرّة هاجمتها نوترينات . والغريب في الأمر أن هذا الجهاز المطمور على عمق مئات الأمتار تحت الأرض هو الذي ينبئنا بما يحدث في مركز الشمس الذي لم نكن نعلم عنه شيئاً إلاّ عن طريق النظريّة !

ومن النافل القول بأن الكشف عن دفق نوتريني صادر عن النجوم ليس بالأمر اليسير . لكنّنا إذا صدّقنا بونتيكورفو لا بدّ من أن نقوم بهذا العمل إذا ما أردنا يوماً معرفة ما إذا كانت ثمّة كواكب مولّفة من مضادات المادّة، لأنّ طيف هذه

الكواكب لا يأتينا بأيّة معلومات ولن نستطيع التحقّق من الأمر إلاّ عن طريق التقاط دفق من اضداد النوترينات ... ولا ريب في أنه قد ينقضي زمن طويل قبل أن نبلغ هذا الهدف .

الفصل الخامس

الذرّة تفسّر النجم

لقد استعرضنا في الفصول الثلاثة الأولى العناصر المختلفة التي تشكّل المادّة من الجزيء إلى جمهرة الجسيمات العابرة المضطربة . وقد لاحظنا أن المادّة لا توجد في الحالة التي نعرفها عن طريق اختبارنا اليوميّ وحسب لكنها تلاحَظ أيضاً في وفرة من المظاهر المختلفة ، من البلاسما حتى المادّة المنحلّة . ولئن كانت بعض هذه المظاهر قد تركتنا حيارى ومتشكّكين أحياناً في حقيقتها ، فقد عدلنا عن شكّنا وأعربنا عن إيماننا بالعلم عندما رأينا البراهين التي جاءتنا بها غيوم ما بين الكواكب والأقزام البيضاء .

أمّا الآن وقد فكّكنا جميع هذه الآليّات الذريّة وبسطناها أمام أعيننا ، فما عسانا أن نفعل ؟ إننا سنعيد تركيبها و بواسطتها سنعيد بناء الكون . إنّه لعمل غنيّ بالمعلومات لأنّه سيبيّن لنا بطريقة اختباريّة كيف تركّب هذا الكون ويبرهن لنا على أن اللامتناهي في الكبر لم يُبن بموادّ تختلف عن المواد التي زوّدنا بها اللامتناهي في الصغر .

إنّنا لن نكون بلا ريب بمأمن من المفاجئات – ومنها

مغامرة الهاوي الذي يكون قد فكّك آلة وحاول إعادة تركيبها فيجد بين يديه عدداً من القطع يفيض عن الحاجة ... ولن يصل بنا الادّعاء إلى الاعتقاد بأننا نعرف محل هذه الجسيمات التي تكتشف الفيزياء كلّ سنة عدداً متزايداً منها والدور التي تقوم به. والموقف المعقول الوحيد هو أن ننتظر بكل تواضع أن يكشف لنا الاختبار عن رسالة كلّ واحد منها.

١ . من المادّة الكونيّة إلى النجوم

لكنّ هذا لا يمنعنا عن القيام بمحاولتنا فنصنع، في البداية، المادّة الأساسيّة التي تتكوّن منها الكواكب، وهي المادّة الكونيّة. خذ هيدروجيناً وأضف إليه كميّة ضئيلة من الهيليوم بحيث لا يتعدّى المزيج ٩٩ ٪ . أضف إلى ذلك بعض ذرّات الأكسيجين والأزوت والكلسيوم دون أن تتعدّى النسب التي ذكرناها في الصفحة ٥٥ ودع قوانين الميكانيكا السماويّة تجري مجراها . وهكذا تكون قد وضعت في الفضاء المادّة الكليّة التي تصبح قادرة على تكوين نجوم .

ففي هذه المادّة الموزّعة بغير انتظام كل حثيرة تشكّل سديماً ــ كسديم صورة الجبّار مثلا ــ الذي يخضع في آن واحد للميل إلى التمدّد الذي تخضع له جميع الغازات وللجاذبيّة النيوتونيّة لأجزائه المختلفة . وهذا السديم الذي تتجاذبه قوّتان متقابلتان يحصل على استقراره بدورانه على ذاته ويتّخذ شكلا شبه كرويّ . وعندئذ يصبح جاهزاً، إذا تجمّعت بعض الشروط،

لكي يحدث نجما أو نظاماً من السيّارات . وليس علينا الآن أن نفسّر مشكلة نشأة الكون ونكتفي بأن نقول إن هذه هي النظريّة الشائعة اليوم حول أصل الشمس والسيّارات . لكنّنا نضيف إلى ذلك أن تكوين النجوم هذا انطلاقاً من محيط ما بين الكواكب يبدو ظاهرة عاديّة (انظر ص ١١٦) . ونحن نعرف في السماء حثيرات آخذة في التحوّل إلى نجوم . ولو عاشت البشريّة بضعة ملايين من السنين وكان ما يزال فيها فلكيّون بإمكانها أن تشاهد نموّها التامّ .

٢ . الحرارة تشكّل النجم

الآن وقد عرفنا كيف نبني نجماً انطلاقاً من ذرّات نتساءل عن نوع هذا النجم الذي نحصل عليه . وقد نعتقد أن جميع النجوم واحدة ما دامت مصنوعة من العناصر ذاتها . لكنّ هذا الاعتقاد خاطئ ويكفي أن نلقي نظرة على السماء، حتى ولو لم نكن واسعي الاطّلاع في علم الفلك، لنلاحظ أنها لا تتشابه . فثمّة نجوم زرقاء ونجوم صفراء ونجوم حمراء وبعضها يلمع أكثر من بعضها الآخر . وإذا لم يكن التركيب الكيميائي هو الذي يفرّق بينها فما هو يا ترى العامل الذي يعطي كلّ واحد منها شخصيّة متميّزة ؟ ليس من الداعي أن نبحث طويلاً فالعامل هو درجة الحرارة .

إننا نعرف العمل الرئيسيّ الذي تقوم به الحرارة أو يقوم به البرد على الأشياء . ولنأخذ مثلاً على ذلك، ونلاحظ الماء

وهو جسم مألوف لدينا . فعندما تنخفض حرارته إلى ما تحت الصفر يتحوّل إلى جليد، ويكون سائلاً بين الصفر والمائة درجة ثم يتحوّل فوق ذلك إلى بخار . أما وإذا ارتفعت حرارته إلى ما فوق ٢٥٠٠° فيصبح مزيجاً من الهيدروجين والاكسيجين واذا ارتفعت الحرارة أيضاً بضعة آلاف الدرجات يتحلّل هذا المزيج بدوره وتنتقل ذرّة الهيدروجين مثلاً إلى مجرّد بروتون .

فيمكن إذن التكهّن بأن تكوين النجوم يخضع لحرارتها السطحيّة وهذا ما يحملنا على قياس هذه الحرارة . والقضيّة أسهل ممّا يُظنّ ، فبوسع كل إنسان أن يقارن بين حرارة نجمين ، النسر الواقع مثلا وقلب العقرب ، ويقول أيّتهما أرفع من الأخرى. ويكفي لذلك أن يرفع عينيه نحو سمت السماء الصيفيّة ليلاحظ أن النسر الواقع أزرق ثم يخفضهما نحو الأفق ليرى أن قلب العقرب أحمر . فيذكّره الفصل السابق كما يذكره اختباره اليومي بأن حرارة الجسم المحمي حتى البياض (وبالأحرى حتى الزرقة) أرفع من حرارة جسم محمي حتى الحمرة ويستنتج من ذلك أن حرارة النسر الواقع أعلى من حرارة قلب العقرب .

إن هذا الإستنتاج مطابق للواقع ويثبت علماء الفيزياء الفلكيّة أن الحرارة السطحيّة لقلب العقرب تبلغ ٣٠٠٠° بينما تبلغ حرارة النسر الواقع ١٠٠٠٠° . لذلك صنّف الفلكيّون النجوم من أرفعها حرارة (٣٠٠٠٠°) إلى أدناها (٣٠٠٠°) في سبع فئات يُشار اليها بالحروف التالية : و، ب، ف،

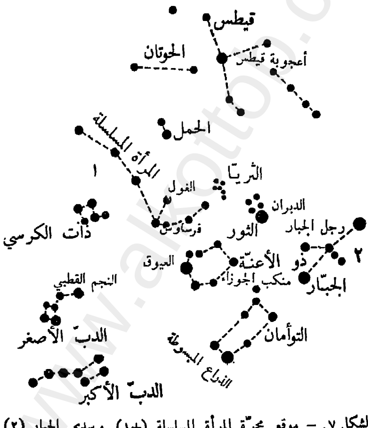
ج، ك، م . وقد يبدو هذا التّرتيب الأبجديّ غريباً لكنّه جاء نتيجة للتعديلات المتعدّدة التي أدخلها عليه الاختصاصيّون . أمّا الآن فعلينا أن نرى نتائج تقلّب الحرارة على التّركيب الكيميائيّ.

إن النجوم من فئة م، وهي أدناها حرارة (٣٠٠٠°) لا تشكّل خطراً على الذرّات . فذرّاتها تصمد في وجه هذه الحرارة كما تصمد في وجهها بعض الجزيئات، لذلك نجد في نجم كقلب العقرب أجساماً مركّبة إلى جانب ذرّات الكلسيوم والحديد والمغنيزيوم . ولا عجب في أن لا نأتي على ذكر الهيدروجين، وهو أكثر العناصر انتشاراً في الكون، لأنّ الحرارة ليست كافية لإثارة ذرّته فلا يصدر عنه أي إشعاع .

وإذا بلغت الحاارة ٤٠٠٠° نقع في فئة ك . وهذه الحرارة بدورها لا تكفي لتفكيك الجزيئات فتظل كما كانت عليه في الفئة السابقة، لكنّها كافية لحمل إلكترون الهيدروجين على الطفرة من مدار إلى مدار وحمل إشعاعه على الظهور في الطيف. وإذا أردنا رؤية نجم من هذه الفئة فما علينا إلاّ أن ننظر في ليلة صافية من ليالي الشتاء إلى الدبران في صورة الثور (شكل٧)

وننتقل بالطريقة ذاتها إلى فئة ج وفئة ف وفئات أ، ب، و . ففئة ج هي فئة العيّوق وفئة شمسنا (الحرارة السطحيّة = ٥٦٠٠°) . وفئة ف هي فئة العميصاء أو الشعرى الشاميّة (٧٥٠٠°) . وقد بلغت هنا الحرارة درجة كافية لتأيين الذرات لذلك فقدت ذرّات الحديد وبعض المعادن الأخرى عدداً

كبيراً من إلكتروناتها . أمّا في فئة أ (١٠٠٠٠°) التي يدخل فيها النسر الواقع فأكثر المعادن قد تأيّنت ولم ينج الهيدروجين ذاته من البتر . وهذا هو أيضاً وضع الفئة ب (٢٠،٠٠٠° مع زيادة في التأيّن الذي يبلغ أعلى درجاته في الفئة أ (٣٠٠٠٠°



الشكل ٧. – موقع مجرّة المرأة المسلسلة (+١) وسديم الجبار (٢) في السماء الشمالية

وفي هذه الفئة تنتشر الإلكترونات بلا انتظام وتمتزج بنوى لا تحتفظ إلاّ ببعض توابعها المخلصة .

وهكذا، انطلاقاً من بعض المواد البدائيّة نتوصل إلى إعادة بناء النجوم بمختلف أنواعها . ونستطيع أيضاً أن نعيد بناء بعض الكواكب الغريبة الأطوار كالأقزام البيضاء، ونعلم أن ذلك لا يتطلّب إلا تكديس ذرّات تعرّت ولم يبق فيها إلاّ النوى شرط أن نؤمّن لها الضغط الكافي . وهكذا نحصل على مادّة منحلّة نستطيع بواسطتها أن نعيد بناء كرات كرفيق الشّعرى .

٣ . الضغط وبناء النجوم

لقد أتينا على ذكر الضغط . فكيف لم ندخل في الحساب، عندما عرضنا طريقة صنع النجوم، عاملَ الضغط الذي هو على هذا القدر من الأهميّة ؟ وكيف لم تذكر أنّه يوجد نجوم أقزام ونجوم جبّارة ؟

لقد رأينا مدى السهولة في مقارنة حرارة النجوم بمجرّد النظر إلى لونها . غير أن الحكم على ضغطها لا يتمّ بهذه السهولة . فايّاً كان قطرها تبدو لنا نقطاً لا حجم لها . ولا يمكّننا اللجوء إلى طرائق مباشرة لقياس قطر النجوم إلاّ لعدد قليل منها وفي ظروف خاصّة . أما لقياس قطر العدد الأكبر منها فعلينا أن نكتفي باستنتاجات نظريّة . وهكذا نرى أمام اعيننا مجموعة

هائلة من النجوم تختلف في احجامها اختلافاً مدهشاً، من العمالقة الكبار كرأس الجاثي الذي يفوق حجمه ٥٨٠ مرّة حجم الشمس إلى ذلك النجم النوتروني الذي أتينا على ذكره سابقاً والذي لا يبلغ شعاعه ٨ كلم .

فعالم النجوم يتألّف إذن من كواكب متوسّطة كالشمس ومن أقزام ومن عمالقة ومن عمالقة كبار . وقد كوّنا لنا فكرة عن تشريح الأقزام . أمّا تشريح النجوم الوسطى فيرتكز على الهيدروجين الذي يرافقه الهيليوم ومعادن مع بعض الجزيئات التي تصمد في وجه التفكّك . ثم تأتي فئة الجبابرة التي تستحقّ أن تسترعي اهتمامنا بعض الوقت .

٤ . تركيب النجوم العملاقة

لنكوّن لنا فكرة واضحة عمّا سنقوله فنتذكّر أن شعاع الشمس يبلغ ٦٩٦٠٠٠ كلم وأن الأرض تبعد عنها ١٥٠ مليون كلم . وبعد هذا التوضيح نقول أن نجماً عملاقاً يسع شموساً عدّة وأننا نستطيع أن نضع مدار الأرض بكامله في داخل أحد العمالقة الكبار . فقطر الدبران مثلاً يفوق قطر الشمس ٣٦ مقداراً وقطر رأس الجاثي ٥٨٠ مقداراً، أعني أنّنا إذا وضعناه في وسط الجهاز الشمسيّ يستوعب مدار الأرض ومدار المرّيخ معاً . والمهمّ بالنسبة إلينا الآن هو أن نعرف حالة المادّة في داخل مثل هذه العمالقة . وبظنّنا أنها في غاية التخلخل، وإلاّ لأعطت الكوكبة كتلة تشوّش

الجاذبيّة بأسرها على مسافة مئات السنين الضوئيّة، حتّى إذا لم تكن بالغة كثافة الهواء. وفي الواقع علينا أن نأخذ ٤٠٠ م^{٣} من رأس الجاثي لنحصل على غرام واحد من المادّة وهذا ما يوافق كثافة تبلغ ١/٥٠٠٠٠٠٠ من كثافة الهواء. فلنتصوّرنّ في وسط فراغ رهيب ذرّات مشتّتة تتحرّك بسرعة كبيرة بحيث تبلغ حرارة الجوّ الوهميّة ملايين الدرجات.

٥. الشمس تتشتّت طاقة

بقي علينا أن نعرف لماذا تشكل المادّة النجميّة المؤلّفة من الذرّات ذاتها تارة عمالقة وتارة أقزاماً. وبتعبير آخر، لماذا تتمدّد في بعض الكواكب حتّى تبلغ غاية التخلخل وتتقلّص في غيرها بحيث تجعل لنجم لا يزيد على حجم علبة الثقاب وزن عابرة محيطات؟

ونحن لا نستعمل هنا فعلي «تمدّد» و«تقلّص» بالمعنى المجازيّ بل بالمعنى الحقيقيّ. وفي الواقع يبدو النجم عملاقاً في فترة معيّنة من حياته وقزماً في فترة أخرى لأنّه يخضع لهذه الأنواع من القسر الفيزيائيّ. وهو يمرّ من مرحلة إلى أخرى عملا بقوانين التطوّر الطبيعيّ، ولئن كان يتطوّر فلأنه يهرم.

وقد يستغرب القارئ قولنا إن النجم يهرم، فمنذ أن كانت البشريّة لم يسمع أحد بأن النجم القطبي ينازع أو أن قلب العقرب يلفظ أنفاسه! ومع ذلك فإن هذا ما يحدث في الواقع.

فكل نجم، إذ يلمع ، يشعّ طاقة ، كأيّ كائن حيّ خلال حياته . وإذا أفلح ، بطريقة ما ، في تجديد طاقته ، فإن هذه الطاقة تنضب أخيراً ويكون هذا النضوب سريعاً بقدر ما يفرّط به . ويأتي وقت لا محالة « تنفد فيه جميع وسائله » .

فإذا نظرنا إلى الشمس نلاحظ أنها تشتّت في الفضاء، بشكل إشعاعات كهرطيسية مختلفة، طاقة تبلغ ٣٨٠ ٠٠٠ مليار مليار كيلوواط— وهذا ما يكفي لحمل مياه المحيطات كلّها على الغليان في ثانية واحدة . وتعجز مخيّلتنا عن تصور أرقام بهذا المقدار، ولكنّها تحملنا على الاعتقاد بأن هذا التبذير لن يمكّن الشمس من أن تعمّر طويلاً . ولو كانت مؤلّفة من الفحم الصافي لكانت قد تحوّلت منذ زمان طويل إلى رماد .

لكنّ ما يغذّي الشمس بالطاقة ليس وقوداً كيميائيّاً عاديّاً وهي تدين بإشعاعها لتفاعل زخميّ حراريّ دائم كما هو معلـــــوم .

لقد شرحنا باقتضاب في الصفحة ٤٣ مبدأ تحرير الطاقة النوويّة عن طريق انفلاق نوى الأورانيوم . أما هنا فالطاقة تحرّر عن طريق «التحام» نوى الهيدروجين . فلا تقوم الظاهرة على « انكسار » النوى التي تطلق طاقتها، بل بالعكس على « التحام » نوى الهيدروجين لتصبح نوى هيليوم . ويحصل هذا الالتحام بقوّة تجعل قسماً من كتلته الهيدروجين تتطاير شظاياها، إذا صحّ هذا التعبير . وهذه الكتلة « المتطايرة » هي

التي تتحول إلى طاقة وتفسّر انتاج ٣٨٠ ٠٠٠ ٠٠٠ مليار كيلوواط . ولعلّ القارئ يقدر هول التفاعل حقّ قدره إذا عرف أن الإشعاع هو ثمن تحوّل ٤ ملايين طنّ من المادّة الشمسيّة إلى طاقة في الثانية .

قد يقول بعضهم : « إن الشمس التي تبذّر وقودها بهذا الشكل الجنوني لن يقدّر لها أن تعمّر طويلاً » . كلاّ ! ولو كانت الشمس لا تتألّف الاّ من الهيدروجين واحتفظت طول حياتها بقابليّتها يظلّ أمامها ما لا يقلّ عن مائة مليون سنة من النشاط .

٦ . الحياة النوويّة للنجوم

بعد أن وضّحنا هذه النقطة نستطيع الآن الإجابة عن السؤال الذي طرحناه منذ هنيهة وهو : لماذا تحدث المادّة النجميّة تارة عمالقة وتارة أقزاماً ؟ لنأخذ القضيّة من أوّلها ونستند إلى الافتراض المسلّم به إجمالاً وهو أن النجم ينشأ عن مثيرات الغيم الكونيّ .

فمنذ اللحظة التي تبدأ فيها القوى الميكانيكيّة عملها في داخل الحثيرة يبدأ التطوّر ويسري مفعول قوانين الغازات وقوانين الجاذبيّة فتبدأ الكتلة بالتجمع وباتخاذ شكل كروي وتدور على ذاتها . إنها لم تصبح بعد نجماً حقيقياً لكنّها تعبر المرحلة الإعداديّة بسرعة، وفي حال الشمس مثلاً ، كان ما

يقرب من مائة مليون سنة كافياً لجعل التقلّص يوصلها إلى كتلتها وإلى ضيائها الحاليّين .

وهكذا كانت الشمس في بدء حياتها نجماً عملاقاً يفوق ضياؤه ألف مرّة ضياءه الحاليّ . وبعد بدء الشطر الثاني من حياتها وصلت إلى وضعها الحالي وخفّفت سيرها ، واليوم لا نحسب تطوّرها بملايين السنين بل بملياراتها . وهذا التطوّر الذي يكاد لا يُدرك ، مع أنّه مستمرّ بفضل تحوّل الهيدروجين إلى هيليوم ، يقودها من جديد إلى حالة نجم عملاق . وبعد ذلك تكون قد استنفدت هيدروجينها ووقودها الأخرى فتدخل في فئة النجوم الأقزام .

٧ . نجوم مغناطيسيّة

هكذا يجري تطوّر النجوم العاديّ . والحياة البشريّة من القصر بحيث لا تمكّن من متابعته على كوكب معيّن . ولكن ليس ما يمنعنا من أن نحتذي مثل العالم النباتيّ أو الحراجيّ الذي لا يستطيع أن يرى الشجرة تنمو فيكتفي بتفحّص نماذج مختلفة منها في أعمار مختلفة . ونحن أيضا نستطيع أن ندرس في السماء نجوماً في مراحل مختلفة من حياتها .

وعلينا أن نلاحظ هنا أمراً خاصّاً وهو أن التطوّر الطبيعيّ لنجم ما يخضع لتركيب مادّته . فيجب إذن أن نعتبر غير طبيعية النجوم التي تبدو في مكوّناتها نسبة غير عاديّة .

فثمّة نجوم غنيّة بالكربون أو بالأكسيجين أو بالأوربيوم أو بالكريبتون بصورة غير طبيعيّة . ونحن نقرّ بأن هذا الأمر يكاد يكون غير ذي شأن لغير الإختصاصيّين لولا أن إحدى هذه الحالات الخاصّة وضعتنا أمام ظاهرة أثارت بعض الضجّة.

نريد بذلك التحدث عن نجوم اكتشف فيها وفرة غير طبيعيّة من بعض العناصر وأخصّها المعادن للّتي يفوق مقدارها ٢٠٠٠ ضعف المقدار العاديّ . فكيف نفسّر هذه الوفرة ؟ إنّنا نفسّرها بافتراضنا أن هذه الأجسام قد تكوّنت عن طريق تفاعلات نوويّة إضافيّة . وقد يعترض معترض بقوله إن التحوّل يفترض ليتحقّق لا وجود نوى تتحوّل وحسب ، بل مؤنة كافية من المقذوفات . ولئن كان العثور على هذه المقذوفات أمراً سهلاً في داخل النجم مركز التفاعلات الّتي نعرفها ، فالأمر يختلف على سطحه . فأيّة آليّة تستطيع أن تقوم على سطح النجم بعمل الآليات الداخليّة ؟ هذا السؤال أجاب عنه شتزمن وغيره من علماء الفلك إجابة واضحة فقد لجأوا إلى الحقل المغنطيسيّ القوي الموجود في هذه الكواكب وحسبوا أن التيارات الّتي تنشأ في هذا الحقل على طول خطوط القوّة فيه تكفي لأن تؤمّن للبروتونات المفكّكة السرعة الضروريّة. وهكذا اتجهت الأنظار نحو « النجوم المغناطيسيّة » الّتي أقام الفلكيون البرهان عن وجودها قبل ذلك بسنوات .

ولم تكن المغناطيسيّة ظاهرة مجهولة لدى الفلكيّين ،

لكنهم لم يكونوا يعيرونها انتباهاً خاصاً . فالحقل الأرضيّ لا يبلغ نصف غوس ولا يتعدّى الحقل الشمسيّ غوساً أو غوسين ويكاد حقل بقعها لا يصل إلى ٣٠٠٠ غوساً . وها قد ظهر في النجوم المغناطيسيّة حقل يصل إلى ٣٤٠٠٠ غوس ، كما ظهر حقل في مادّة ما بين الكواكب ، في المجرّة وزميلاتها ، وباختصار الكلام انتقلت المغناطيسيّة من ظاهرة بسيطة إلى مصاف عامل مهمّ في سير الكون .

٨ . اشعاع الذرّات النجميّة

لما كانت رسالة النجوم تقوم على إشعاع الطاقة (وبخاصّة الطاقة الضوئيّة المرئيّة) علينا الآن أن نتساءل عن طريق تأديتها لهذه الرسالة . ولهذه الغاية ليس علينا إلا توجيه السؤال إلى الشمس لنعرف كيف ترسل نورها .

إن الإجابة عن هذا السؤال موجودة في الفصلين الثاني والرابع . إن طفرات الإلكترونات في داخل الذرّات الشمسيّة هي التي تنتج هبّات الطاقة التي تتحوّل إلى موجات كهرطيسيّة .

ونحن نعلم أن الذرّة لا تبثّ موجات السلّم الكهرطيسيّ المختلفة بالسهولة ذاتها . فلما كانت الإلكترونات الخارجيّة أقل تعلّقاً بالنواة من سواها فإنّ الموجات الناجمة عن طفراتها (وهي أطولها) تنطلق في الدرجة الأولى . أمّا أقصرها وهي

الناجمة عن الإلكترونات الداخليّة فتطلب طاقة قويّة ولا تعتقها الذرّة إلاّ بشحّ .

والشمس نجم متوسّط لا تبلغ حرارتها نسبيّاً درجة مفرطة في الارتفاع ولا تنجم عن تحرير طاقة هائلة . فذرّاتها تبثّ إذن كثيرا من الموجات الطوُيلة وكميّة لا بأس بها من الموجات المتوسّطة والقليل القليل من الموجات القصيرة . وإذا اعتبرنا أن « الموجات الطويلة » هي « الموجات اللاسلكيّة » وأنّ « الموجات المتوسّطة » هي « الموجات الضوئيّة المرئيّة » و « الموجات القصيرة » هي « الموجات السينيّة وموجات غمّا » نكون قد كوّنّا لنا فكرة صحيحة عن إشعاع الشمس وتركيبها .

٩ . اكتشاف الكازارات

لن نتوقّف أمام المركّبات البصريّة والقصيرة لهذا الإشعاع وقد عرضناها سابقاً بالتفصيل، ونبحث الآن في المركّبة الطويلة أي اللاسلكيّة الكهربائيّة التي تستحق تعليقاً مفصّلاً . ولنلاحظ أوّلا ثلاثة أمور مهمّة :

١ . — إن الموجات اللاسلكيّة أطول بكثير من الموجات الضوئيّة وأقلّ دقّة منها وبالتالي لا تؤمّن للفلكيّين المعلومات التي تؤمّنها تلك ؛

٢ . — ... لكنها تعبر في كلّ مكان ولا تعبأ بالظلام ولا بالغيوم ولا بالضباب، لذلك يمكن التقاطها في كل حين وهذا ما يعوّض عن الفقرة السابقة ؛

٣ . — لمّا كان طول الموجات التي يستطيع المقراب اللاسلكيّ التقاطها يتراوح بين المتر والستين متراً، أي ٦٠٠٠ ضعف للمدى الذي تلتقطه المقاريب البصريّة ينجم عن ذلك أن الموجات اللاسلكيّة الشمسيّة تؤمّن لنا من المعلومات ٦٠٠٠ ضعف المعلومات التي تؤمّنها الموجات الضوئيّة .

لن نذكر هنا كلّ ما حققته المقاريب اللاسلكيّة من اكتشافات إنّما نكتفي بما يتعلّق منها بموضوع هذا الكتاب ونتساءل كيف أن آليّة الذرّة تفسّر الإشعاع اللاسلكي للشمس والنجوم ، لأنّ الذرّة، حتى في هذه المجالات الرهيبة، تظل المادّة الأساسيّة التي تفسّر « لماذا » الأشياء.

إنّ شدّة الإشعاع اللاسلكيّ الذي تسجّله المقاريب اللاسلكيّة لا تظلّ ثابتة بل ترتفع وتنخفض وتمرّ بانتفاضات فجائيّة هي نوع من « العواصف الكهربائيّة اللاسلكيّة » . وهذا النشاط هو مقابل النشاط الضوئي المعروف بدوره الذي يعود كلّ إحدى عشرة سنة وثوراناته وأزماته المغناطيسيّة التي تحدث على الأرض الأشفاق القطبيّة وتشوّشات المخابرات البعيدة . ولا يدهشنا أن نرى أقرب النجوم يبدى في المقاريب

اللاسلكيّة الإشعاعات اللاسلكيّة ذاتها التي تتفاوت بالقوة والضعف وفاقاً لخاصيّاتها ومسافاتها.

لكنّ ما يوقعنا في حيرة هو أن المقراب اللاسلكيّ يلتقط، عن بعض أطوال الموجات، وفي مواضع معيّنة من الفضاء بثّاً ذا قوّة غير منتظرة. وهذا الإشعاع ليس مجرّد إشعاع حراريّ هو امتداد غير مرئيّ للطيف الضوئيّ بل اشعاع سنكروترونيّ. ولمّا لم تكن في اتّجاه هذا البثّ نجوم لمّاعة، يُظنّ أنّه صادر عن مجموعة نجوم أو عن مجرّة لا يمكن بعدها من ملاحظتها. غير أن التنقيبات الدقيقة في بؤر المقاريب الجبّارة تمكّن من كشف المصادر اللاسلكيّة لهذه الإشعاعات. هذه المصادر هي «الكازارات»، وهي كواكب خارقة ذات مظهر نجميّ ضعيف لكنّ إشراقها المطلق يفوق التصور.

واليوم يمكننا أن نعزو ٨٠ ٪ من الكازارات إلى أجرام يمكن تصويرها الفوتوغرافيّ، وهي إجمالاً مجرّات لاسلكيّة عملاقة. ويبيّن طيفها أن كثافتها خفيفة لا تتعدّى ٣ ملايين ذرّة في السنتيمتر المكعّب أمّا حرارتها فتبلغ ١٧٠٠٠ درجة مطلقة. وقد دلّت المراقبة البصريّة على أن شعاعها قصير جداً وكتلتها هائلـــــــة.

أمّا طبيعتها، فكلّ ما نستطيع تخمينه هو أنها كواكب خارجة عن المجرّات وبعيدة جداً تبلغ مسافتها ١٠ مليارات

السنين الضوئيّة كما يثبت ذلك حيد طيفها . وهي وإن كانت أصغر من المجرات الطبيعيّة فإن ضياءها يتراوح بين ١٠ أضعاف و ١٠٠ ضعف ضياء هذه المجرّات .

١٠ . سرّ البلسارات

لكنّ الكازارات ليست الكواكب الغامضة الوحيدة التي كشفت لنا عنها السنوات الأخيرة فقد اكتشفت البلسارات في عام ١٩٦٧ . والبلسارات التي سجّل الفلكيّون منها حتى الآن ما يقرب من الخمسين هي مصادر لاسلكيّة تتميّز بنبضات سريعة ومنتظمة . يتراوح دورها بين نصف الثانية والثانية . ويختلف هذا الدور من السن التي تتراوح بدورها بين ٢٠٠٠ سنة ومليار سنة . والبلسارات السريعة فتيّة . وهي منارات لاسلكيّة تجوب حزم أشعّتها السماء كما يجوبها هوائي الرادار .

وتتجمّع البلسارات خاصّة في مقربة من المستوي المجريّ، وهذا ما يجعلها من نوع المجموعة السكنيّة الأولى التي سنأتي على ذكرها فيما بعد . ولما كانت بالطبع جزءاً من مجرّتنا فتقدّر مسافاتها عادة بآلاف السنين الضوئيّة . وهي أيضاً كواكب في غاية الصغر لا يبلغ قطرهكا ١٠٠ كيلومتر .

وهذا ما يكاد لا يُصدّق إذا ما لاحظنا أن لمعان هذا الكوكب يفوق كل تصوّر فمعدّل الدفق الطاقي يقرب من 10^{17} إرغ في الثانية وبالستيمتر المربّع ... وهذا ما لا يمكن فهمه إلاّ

إذا كانت البلسارات نجوماً نوترونيّة كالتي أتينا على ذكرها في الصفحة ٥٩ والتي يمكن أن تبلغ كثافتها ١٠٠ مليار ضعف كثافة الماء . وهكذا نفهم أن شدّة حقلها المغنطيسي تقرب من ١٠ ^١٢^ غوس وهذا ما يمكّن من تفسير إشعاعها عن طريق ظاهرة من نوع ظاهرة الليزر . لكنّنا هنا في اعلى قمّة بلغها العلم وليس من المستحيل أن يخبئ لنا المستقبل مفاجئات أخرى.

الفصل السادس

القوى في الكون

في واجهة مخزن سيّارة معروضة، عبّئت وقوداً وزيتاً وأخذت للقيام بتجربة على الطريق. أهي السيّارة ذاتها؟ لقد يقول القارئ : « إنّه لسؤال غريب ! طبعاً إنّها السيّارة ذاتها ! »

كلا فهي ليست على الطريق آلة جامدة بل آلة تسير. وبتعبير آخر أضيف إلى بنيتها الهندسيّة عامل جديد هو الطاقة.

وكذلك لو سألنا القارئ : « هل الكون الذي وصفته الصفحات السابقة بجزيئاته وذرّاته وجسيماته المختلفة هو عالم الواقع ؛ » فلا يسعه إلاّ أن يجيب : « كلاّ إنّه ينقص هذا العالم المؤلّف من المادّة وحدها العامل الذي يؤمّن له الحركة والحياة، أي الطاقة ».

١ . القوى الثلاث الكبرى في الكون

نلاحظ هكذا أنه لا يكفي أن نصف الطبيعة بأن نحلّلها إلى عناصرها، بل يجب علينا أن نضيف إلى هذه العناصر العوامل التي تسيّرها أي القوى الطبيعيّة الكبرى كالجاذبيّة

والقوى الكهرطيسيّة . وليس من الضروري أن نطيل النظر في ما حولنا لنتبيّن أن هذه القوى تعمل فيها باستمرار . ولئن كان مكتبي في حالة توازن على الأرض، فلأنّ الجاذبيّة تثبته على الحضيض ولـئن كان مصباحي يضيئني ، فلأنّ القوى الكهرطيسيّة تعمل بلا ملل في المعمل الذي ينتج التيّار . ولئن كان قلمي لا يتفجّر بين أصابعي ، فلأن نوى ذرّاته ثابتة في اماكنها بفضل قوى لا نعرف عنها إلاّ أنها موجودة .

الجاذبيّة والقوى الكهرطيسيّة والقوّة النوويّة تلك هي العوامل الرئيسيّة التي تسيّر العالم المادّي . ولولا هذه القوى لما كان الكون، من الذرّة إلى النجم . وهذه القوى تقتسم الكون بدون تنازع ولا تضارب في الصلاحيّات . فالجاذبيّة النيوتونيّة تسيّر المنطقة الواسعة الممتدّة من النجوم حتى الإنسان حيث تعنى بتنظيم تطوّر المجرّات وتوازن مكتبي . أمّا القوّة الكهرطيسيّة فتنظّم حركة الإلكترونات حول نواها وتؤمّن لنا النور والحرارة . وأخيراً تسيطر القوّة النوويّة بلا منازع على أركان المادة، قوى أساسيّة ثلاث يعبّر عن مجال عمل إحداها بجزء من ١٠ آلاف مليار من المليّمتر ، وعن مجال عمل الثانية بجزء من ١٠ ملايين جزء من المليّمتر وعن الثالثة بالسنين الضوئيّـــــة .

٢ . إمبرياليّة الجاذبيّة العامة

إن أكثر هذه القوى شيوعاً هي الجاذبيّة التي تسمّى في

سلّم قياسنا « الثقل » . وليس من حاجة إلى أن نطيل الشرح عن ماهيّتها فكلّنا نعلم أنّه يُعبّر عنها بقانون نيوتن، أي بصيغة رياضيّة في غاية البساطة أتاحت للعلم العقليّ، خلال ثلاثة عصور كاملة، فرصُ انتصارات باهرة . ويكفي أن نتذكّر اكتشاف نبتون والمعرفة المسبّقة الدقيقة للظاهرات الجويّة، ولنتذكّرنّ أيضاً أنه لولاها لما كانت لدينا الآن أقمار اصطناعيّة ولا أجهزة فضائيّة . وظلّ هذا القانون مثالاً وعقيدة لا تمسّ خلال ٢٥٠ سنة .

ولم يجروْ عالم، قبل عام ١٩١٥ على القول بأنّ هذا القانون ليس كاملاً وأنّه لا يفسّر بعض الحركات السماويّة وأنّه من الممكن إتمامه وتعميمه . والعالم الذي أظهر هذه الجرأة هو أينشتين الذي وضع الجاذبيّة في آفاق غير الآفاق النيونوتيّة، أي في النسبيّة، فوسّع مجالها وأعطاها مدى علميّاً وفلسفيّاً يفوق مداها الأوّل .

وكانت نظريّة أينشتين إعلاناً للهجوم . ففقد قانون نيوتن قدسيّته وراح بعضهم يبحث عن إمكان الدوران حوله . ولمّا كان عمل قوّة ما يبطل تحت تأثير قوّة مقابلة أخذوا يحاولون مقاومة قوّة الجاذبيّة بقوّة مركزيّة طاردة، ويرغمون طائرة سريعة على اتّباع مسار معيّن . وهكذا تتوصّل هذه القوّة إلى مقاومة الجاذبيّة ويفقد ما في الطائرة وزنه — وقد طبّقت هذه النتيجة على الأقمار الاصطناعيّة المسكونة .

ثم راح باحثون ذوو مخيّلة خصبة يبحثون عن مادّة مقاومة للجاذبيّة ... غير أنّ العلماء الروس والأميركيين والفرنسيّين الذين أطلقوا أقماراً اصطناعيّة لا تقبل الحسابات التقريبيّة ظلّوا يستندون إلى الميكانيكا النيوتونيّة الكلاسيكيّة .

٣ . ما هي الجاذبيّة ؟

إذا فكّرنا مليّاً في الأمر لا نصدّق أن العلم يتابع البحث عن الإجابة عن هذا السؤال بعد تدخل عباقرة من طراز نيوتن ولابلاس وأينتشين . وقد أجاب العلم عن هذه الأسئلة : ما هو النور ؟ ما هي الكهرباء ؟ ما هي المغناطيسيّة ؟ لكنّه ظلّ عاجزاً عن الإجابة عن السؤال المتعلّق بطبيعة الجاذبيّة . أتكون الجاذبيّة قوّة تختلف في جوهرها عن القوى الأخرى؟ إن صاحب نظريّة النسبيّة قد أجاب بنعم، وفي رأيه أنها نتيجة تغيير شكل المكان والزمان اللذين نعيش فيهما . فالجسم الثقيل يغيّر شكل هذا الزمان وهذا المكان كما يغيّر جسم شكل قطعة من القماش يوضع عليها . فلا وجود إذن للجاذبيّة، وكلّ ما في الأمر هو وجود خاصيّة هندسيّة ناجمة من انحناء المكان .

وقد أجاب بعضهم قائلين : « إن هذا التفسير خاطئ وإن الجاذبيّة ظاهرة شبيهة بالإشعاع الكهرطيسيّ وتنتشر على غراره، مع هذا الفارق الوحيد وهو أن سرعتها غير متناهية

وأن العلم لم يتوصل بعد إلى البرهان على موجات جاذبة مماثلة للموجات الكهرطيسيّة » .

ولأوّل وهلة، يبدو تصوّر الجاذبيّة بشكل تموّجيّ ضرباً من الجسارة : ونتساءل كيف لا يوجد أي حاجز يقف في وجه هذه الإشعاعات. ولكن ألا يشكل تاريخ اكتشاف الموجات الكهرطيسيّة سابقة قد يكون فيها بداية تفسير ؟

والواقع أن الموجات الكهرطيسيّة تنشأ عن ذبذبات شحنات كهربائيّة . فالحركة التذبذبيّة للإلكترونات في هوائي مرسل مثلاً هي التي تحدث الموجات اللاسلكيّة . فلننقل الظاهرة إذن إلى حقل الجاذبيّة لعلّ كتلاً منتجة للجاذبيّة خاضعة لحركة تموجيّة تنتج موجات الجاذبيّة . لكن هذه الموجات إن وجدت، لا بدّ من أن تكون في غاية الضعف وقد بذل العلماء جهداً جبّاراً، في عام ١٩٦٩، لمحاولة التقاطها ... ولكن المحاولة لم تأت بعد بأيّة نتيجة حاسمة .

٤ . القوى الكهرطيسيّة

فلنترك الآن درجة الأحجام الفلكيّة وندخل إلى المادّة في قرارة بنيتها . ففي هذه الدرجة تفقد قوّة الجاذبيّة كلّ فعّاليّة . وهذه القوّة، في قياس الكواكب، قادرة على حفظ القمر حول الأرض وفي قياسنا على جعل ورقة تقع على الأرض لكنّها، في القياس الذرّي، عاجزة عن حمل إلكترون على

الدوران حول نواته . ولا بدّ، في هذا القياس، من أن تحلّ محلّها قوّة من نوع آخر، هي قوّة كهرطيسيّة تمارس نشاطها بين جسيمات مكهربة .

ومجال التفاعلات الكهربائيّة واسع جدّاً، وهو يشمل عمل قطب مغناطيسيّ على قطب آخر كما يشمل عمل تيّار على قطعة ممغنطة أو حقل كهربائيّ على حقل آخر . أمّا في حالة إلكترونات الذرّة الخاصّة فالجذب الإلكتروستاتيّ هو الذي يعمل . وبالرغم من أن التعبير عنها يتمّ بقانون هو قانون كولوم الذي لا يختلف في صيغته الرياضيّة عن قانون نيوتن فهي، في هذا القياس، أقوى من الجاذبيّة النيوتونيّة بمليارات مليارات الأضعاف .

٥ . زمان الجاذبيّة والزمان الذرّي

بعد أن توغّل الإنسان في اللامتناهي في الصغر بدا له الزمان، وهو المتغيّرة في كثير من الظاهرات، مفتقراً إلى الدقّة الكافية . لقد كان الزمان من معطيات علم الفلك وقد زادت الدقة في قياسه عندما بدّل الفلكيّون وحدته القائمة على دوران الأرض اليومي على ذاتها بوحدة قائمة على دورانها السنويّ حول الشمس . ولكن سرعان ما تبيّن أن الزمان المبني على الظاهرات الذريّة لايتفق مع هذا الزمان الفلكيّ . ويأتي الفرق بالطبع من أن الزمان الفلكيّ مبني على قانون نيوتن أما الزمان الذرّيّ فهو نتيجة القوانين الكهرطيسيّة . فما كان على

العلماء إلاّ التسليم بوجود مجالين مختلفين ونوعين من الزمان وأن الزمان الذرّيّ أكثرهما دقّة . ولهذا السبب استبدلت المراصد الكبرى الساعات الأساسيّة التي كانت تضبط بالاستناد إلى حركة الأرض بساعات ذريّة يسيّرها تواتر بثّ بعض الذرّات ، وأصبح بإمكانها تحديد الساعة بدقّة تبلغ ١/١٠٠٠٠٠٠ من الثانية .

٦ . القوى النوويّة

يعتقد الكثيرون أن كلمتي « ذرّيّ » و « نوويّ » مترادفتان وينعت الكثيرون منهم بالذرّي كلّ ما يحدث في داخل النواة .

ولئن كان هذا اللبس مقبولاً لعشرين سنة خلت عندما كان يطبّق على علم في بداية عهده لم يحدّد بعد تعابيره بالدقّة الكافية ، فقد أصبح اليوم غير مقبول . ففي مجال الذرّة نقيس بجزء من عشرة ملايين الجزء من الملّيمتر ، أمّا في المجال النوويّ فنقيس بجزء من ألف مليار جزء . وهذا يدلّ على مدى اختلاف المجالين ممّا يبرّر اعتقادنا بأن القوى التي تحفظ تلاحم النويّات هي غير الجاذبيّة وغير القوّة الإلكترومغناطيسيّة .

لقد تكلّمنا عن هذه القوى النوويّة في الصفحة ٤٤ ، وقد حان الوقت للتعرّف إليها عن كثب . ولنلاحظ أوّلاً أن مهمّتها تنحصر في لحم النويّات معاً ، فلا عجب في كون هذه

النويّات مكهربة أو غير مكهربة . ولنلاحظ ثانياً إنها تتغلّب، لتأمين مهمّتها، على التنافر الالكتروستاتيّ بين البروتونات وهذا يعني أن القوّة النوويّة تفوق كلّ قوّة الكتروستاتيّة بمليون مرّة . ولنلاحظ أخيراً أنّها بالرغم من قدرتها الهائلة، تتلاشى منذ أن تتعدّى حدود النواة . فمداها إذن في غاية القصر ويحسب علماء الفيزياء أنّه لا يتعدّى ١٠ —١٢ المليّمتر . أمّا خاصيّات الحقل الذي تكوّنه هذه القوى، وكيف تنشأ هذه القوى وكيف تعمل، فتلك أمور ما نزال نجهلها ويسعى علماء الطبيعة إلى اكتشاف خفاياها .

٧ . البحث عن نظريّة موحّدة

تبدو الطبيعة بعد هذه الملاحظات تنقسم إلى قطاعات ثلاثة ولا تشكّل وحدة تامّة . وتبدو تسميتها باسم واحد هو « الكون » ضرب من ضروب الوهم الساذج .

لكن العلم سار دوماً على طريق التوحيد وحاول دوماً ربط بعض الظاهرات ببعضها الآخر وتفسير المعقّدة منها بالبسيطة . فليس غريبا أن نرى بعض العظام من العلماء يحاولون التقريب بين القوى الكبرى الثلاث التي تسيّر الكون وجمعها في صيغة واحدة .

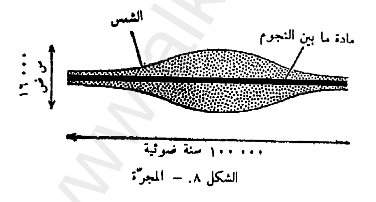
ولم يجر البحث عن نظريّة « موحّدة » حتى الآن إلاّ بالنسبة إلى الجاذبيّة والكهرطيسيّة لان اكتشاف القوى

النوويّة حديث العهد . وجمع الجاذبيّة النيوتونيّة والقوّة الكهرطيسيّة والمادّة والطاقة في صيغة واحدة، أي التعبير عن الكون بأسره ببعض العلامات الجبريّة، محاولة أغرت أعظم علمائنا، كأينشتين وهيَزنبرغ اللذين كرّسا في سبيلها السنوات الأخيرة من حياتهما . ولسوء الحظ يبدو أن ضخامة القضيّة تتعدّى إمكانات العلم الحاليّة . ويبدو لنا توحيد الكون ضالّة منشودة وحلّ قضيّته ما يزال « في أحضان الآلهة » .

الفصل السّابع

الذرّة وحياة العوالم

لقد تكلّمنا عن المجرّات في الفصول السابقة دون أن نعرِّف بهذه الشخصيّات السماوية، فعلينا أن نقوم الآن بهذه المهمّة. ونقول إن المجرّات تقع في تسلسل النظام الفلكيّ فوق النجوم. فالمجرّة مجتمع يتألّف من مئات ملايين أو مئات مليارات النجوم. والمجرّة التي نحن جزء منها تحتوي على ما لا يقل عن مائتي مليار نجم (شكل ٨) يضاف إليها كتلة من المادّة المبعثرة بين النجوم تتراوح بين ٦ ٪ و ٨ ٪ من الكتلة الكاملة.



الشكل ٨. – المجرّة

١ . مقدّمة لمعرفة المجرّات

إننا بالطبع نرى مجرّتنا من الداخل، لكنّنا نستطيع أن

نكوّن لنا عنها فكرة صحيحية إذا ما نظرنا إلى زميلتها المرأة المسلسلة، التي تبعد عنها، حسب آخر الأخبار، مليوني سنة ضوئيّة والتي هي نسخة عنها تكاد أن تكون طبق الأصل. ونكتفي هنا بالقول إن عدد المجرّات لا يحصى كما يبدو ذلك في الصور الفوتوغرافيّة المأخوذة بواسطة المقاريب الكبرى وإن أشكالها مختلفة، أكثرها شيوعا الشكل الحلزونيّ، كما أن كتلها ولمعانها يختلفان أيضاً — فلمعانها يفوق لمعان الشمس ملياري مرّة مثلاً.

وتقع فوق مرتبة المجرّات مرتبة أكداس المجرّات، بل ومرتبة الكون بأسره. فهذا الكون يتألّف من مجرّات كما تتألّف الأشياء من ذرّات كما تثبت ذلك جميع الدراسات الفلكيّة التي تعاقبت منذ نصف قرن. ولا نجد على مدى المقاريب والمقاريب اللاسلكيّة إلاّ أكداساً مكدّسة من الشموس. أمّا عددها فلا يحصى كما لا تحصى حبّات الرمل في الصحارى. وكلّ ما نستطيع قوله هو أن الاكداس تتألّف من مجرّات والمجرّات من نجوم والنجوم من ذرّات.

٢ . مجموعتان من النجوم

سنحصر بحثنا الآن بنوع خاص في مجرّتنا لا لأنها تتمتّع بامتياز خاصّ في الكون بل لأننا نراها عن كثب ونتميّز أجزاءها. وما نقوله عنها ينطبق على شبيهاتها. ونبدأ بهذه الملاحظة الأولى: في المجرّة نوعان من النجوم، النوع الأول

يشكّل « المجموعة السكنيّة الأولى » ويمتد على المستوي المجريّ ويدور سكّانها حول المركز على مدارات دائريّة تقريباً، أمّا « المجموعة الثانية » فتدور حول هذا المركز على مداراتٍ مستطيلة دون أن تسير على مستوٍ معيّن. ويستنتج علماء الفلك من هذا الوضع كون جميع نجوم المجرّة لم تولد في وقت واحد، فنجوم المجموعة الثانية تعود إلى عهد طفولة المجرّة أمّا نجوم المجموعة الأولى فقد تكوّنت في أوقات مختلفة منذ ذلك العهد وما يزال بعضها يتكوّن أمام أعيننا. فكيف يدعم الفلكيّون هذا الرأي ؟ من براهينهم أن المجموعة الأولى تحتوي على نجوم من العمالقة الكبار المفرطة الحرارة المبذّرة لطاقتها بدون حساب. فلو كانت قد نشأت مع زميلاتها من المجموعة الثانية لكانت هذه الطاقة قد نفدت منذ عهد بعيد.

ووجود عمالقة كبار فتيّة في المجموعة الأولى إلى جانب غيوم من المادّة الكونيّة يحمل على الاعتقاد بأن النجوم خرجت من الغيوم ، أي أن المادّة الكونيّة عند تكثفها تصبح نجوماً. وليست هذه الظاهرة مجرّد افتراض لأن الفلكيّين عثروا في السماء على تحوّل من هذا النوع تمّ خلال سنوات معدودة.

أمّا الآن فما يجب أن نحفظه من هذه النظرة السريعة على العالم المجريّ أمران: الأمر الأوّل هو أن النجوم لم تكن موجودة منذ الأزل لكنّها نشأت عن المادّة الكونيّة في

أوقات معيّنة، والثاني أنها لم تتكون جميعها في آن واحد وأنها تتابع تكوّنها في أيّامنا هذه. ويعتقد الثقاة من علماء الفلك أن عمر نجوم المجموعة الثانية يدور حول ١٥ مليار سنة.

٣. كلّ شيء يفنى وكل شيء يولد

إذا حدّدنا عمر المجرّة بخمسة عشر مليار سنة فلا يعني ذلك أن للكون بداية. ونعلم الآن أن المادّة تتحوّل بلا انقطاع إلى طاقة — وبتعبير أصحّ إلى إشعاع. وفي داخل الظاهرات الهائلة العاصفة في الآفاق الفضائيّة تعيد هذه الطاقة تكوين المادّة بدون انقطاع: وإن كان سياق إعادة الخلق هذا في غاية البطء (تكوين ذرّة من الهيدروجين كلّ سنة في كيلومتر مكعّب حسب رأي هويل وبوندي) فهو كاف لحفظ دور تحويل الطاقة إلى مادّة والمادّة إلى طاقة، لإعادة بناء الكون المتهدم في كلّ لحظة. وهكذا نصل إلى مفهوم كون أزليّ تحلّ فيه المادّة المتكوّنة على الدوام محلّ الطاقة الّتي تتلاشى بلا انقطاع.

وتأخذ هنا «الطاقة المتكوّنة» معنى الهيدروجين: فهذا الغاز هو الذي يخرج باستمرار من الطاقة بروتوناً بعد بروتون. فالهيدروجين هو العنصر الأساسيّ للكون وهو المادّة التي تتكوّن منها النجوم. ونجد برهاناً آخر على ذلك في تكوين نجوم المجموعة الثانية الذي يعود إلى عهد نشأة المجرّة، فتكاد لا تجد فيها إلاّ الهيدروجين بعكس شمسنا الحديثة العهد.

تبدو هذه الملاحظة غريبة لأوّل وهلة . فاعتبار الهيدروجين عنصراً أساسياً يعني أن العناصر الأخرى نشأت بعده، بل نشأت عنه . فكيف يمكن أن نوفّق والحالة هذه هذا الافتراض مع النظريّة المقبولة حتّى هذه السنوات الأخيرة والقائلة بأن جميع الأجسام البسيطة وجدت قبل الكون وأن الكون قد نشأ عن امتزاجها .

هنا لا بدّ من أن نذكّر بأن علم الفلك قد تجدّد رأساً على عقب منذ عشرين سنة وأنّه ما يزال يتابع تجدّده . ويسير هذا التجدّد بسرعة جعلت بعض الآراء التي كانت بالأمس حقائق راهنة في مصاف المهملات . ولو وجد في مكان ما من الكون عنصر واحد أزليّ، ما عدا الهيدروجين لما كان لدينا الآن عيّنة واحدة لجسم ذي طاقة إشعاعيّة ولكانت المادّة بأسرها قد تحوّلت من عهد بعيد إلى رصاص .

٤ . نشوء النويّات في داخل النجوم

ما دام الهيدروجين هو العنصر الأوّليّ الوحيد، كيف تكوّنت إذن العناصر الأخرى ؟ لقد تكونت كلّها في داخل النجوم . فمنذ أن ارتسمت هذه النجوم وبدأت تتقلّص بلغت الحرارة فيها درجة كافية لإحداث التفاعلات الحراريّة النوويّة الأولى . فالتحمت البروتونات معاً لتكوّن ذرّات هيليوم . وقد أدّى ارتفاع الحرارة المتزايد إلى إحداث التفاعلات التالية، فظهرت العناصر الخفيفة أوّلاً من ليثيوم وبيريليوم

وبور، ثمّ تبعها الكربون والآزوت والأكسيجين، ثم سلسلة العناصر المتزايدة في الثقل من الحديد حتى الاورانيوم.

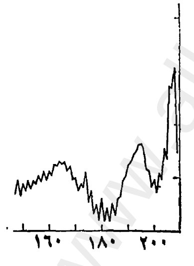
ويوضّح الشكل ٩ المأخوذ عن الفيزيائيّ الاميركيّ كمرون هذا الافتراض حول هذا النشوء المتدرّج للاجسام البسيطة ويبيّن وفرتها النسبيّة في الكون. وهي ممثّلة على السلّم الأفقيّ بعددها الكتليّ أي بعدد نويّاتها (١ للهيدروجين و٤ للهيليوم و٥٦ للحديد، وهلمّ جرّا) ويستنتج من ذلك أنّها تكوّنت تباعاً كلّما مكّن ارتفاع الحرارة من حدوث تفاعلات حراريّة نوويّة مختلفة. ولئن ظهرت في الخطّ البيانيّ قمم من موضع إلى آخر، فيجب أن تفهم من ذلك أن سلسلة التفاعلات تمرّ في هذه المواضع بمأزق تعجز العناصر عن عبوره فتتراكم فيه بانتظار تفاعل قويّ يفسح المجال أمام التحوّل التالي.

٥. قلب المجرّات وسرّه

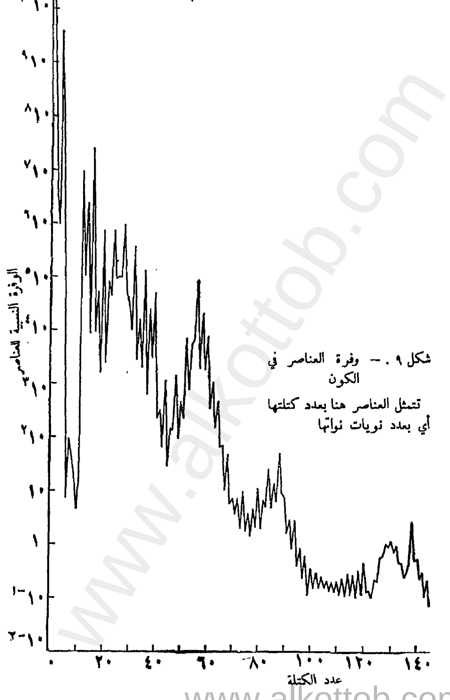
عندما يرفع الإنسان العاديّ عينيه إلى السماء الصافية الأديم يشعر بهدوء وسكون أمام هذا الازدحام من المصابيح الصغيرة المتألّقة. ولكن العالم الفلكي يعلم أن هذه السماء الهادئة ليست في الواقع إلاّ جائحة مستمرّة لا يمكن أن نتصوّر أو أن نتخيّل مداها. وعندما يشير تلامذة القرية الخارجون عند المساء من مدرستهم بأصابعهم إلى النجم القطبي كيف يمكن أن يتصوّروا الأعاصير الحراريّة النوويّة التي تمزّق أديمه والتي قد تختفي فيها الشمس كحبّة غبار؟ وإذا أراهم

معلّمهم مجرّة المرأة المسلسلة، وهي بقعة صغيرة بيضاء، كيف يتوصّلون إلى تصوّر المليارات من الشموس مع الظاهرات الهائلة التي تحدث فيها؟ فالمجرّة ليست مجرّة تجمّع من العوالم بل إنّ لها شخصيّة تعيش لحسابها الخاصّ.

ولئن كان لها شكل قرص أو شكل كرة أو شكل لولب فإنّها تبدو دائماً كمجموعة من النجوم تزيد كثافتها كلّما اقتربت من المركز. ففي مجرّتنا مثلا توجد شمس في كلّ مكعّب طول ضلعه ٣٢٦ سنة ضوئيّة وكلّما اقتربنا من الوسط نجد النجوم تتراكم حتى نصل إلى المركز فنشاهد كدساً



متراصّاً من النجوم ومن المادّة الكونيّة. وليس من الصعب أن نتصوّر شدّة الجاذبيّة في محيط من هذا النوع. وبإمكاننا



شكل ٩ . – وفرة العناصر في الكون

تتمثل العناصر هنا بعدد كتلتها أي بعدد نويات نواتها

أيضاً أن نتخيّل قوّة تجاذب النجوم المتجاورة والتقاءاتها وانفجاراتها وتدفّق الطاقة والتهيّج المسعور في محيط يبلغ في الحرارة درجة هائلة .

٦ . انفجار المجرّات

يفسّر الكثيرون من العلماء عن طريف انفجار من هذا النوع الثورة التي لوحظت عام ١٩٦١ في المجرّة مسمّيه ٨٢ الكائنة في الدبّ الأكبر والتي تبعد عنا مسافة ١٠ ملايين سنة ضوئيّة . وقد بدت هذه الثورة لاعينهم بشكل متواضع : إشعاع كهربائي لاسلكيّ شبيه بإشعاع مجرّة السرطان وبث ضوئي مستقطب وظهور دفعات حمراء من الهيدروجين . وهذه الظاهرات البسيطة تنمّ عن إعصار طاقيّ يعادل الإعصار الذي يحدثه انفجار ستّين شمساً وتعني أن قلب هذه المجرّة بالملايين من نجومه وسيّاراته آخذ بالانفجار مرسلا شظاياه بسرعة ١٠٠٠٠ كلم في الثانية .

وقد اكتشفت منذ عام ١٩٦١ مجرّات انفجاريّة أخرى وهي أجرام سماويّة في غاية الكثافة تقرب كتلها مما يعادل ١٠ مليارات إلى ١٠٠ مليار من كتلة الشمس بالرغم من أن لمعانها لا يبلغ لمعان مجرّة عاديّة . ويعتقد الكثيرون من علماء الفلك أن هذه الظاهرة هي التي تحدث في الكازارات .

* * *

في هذا المجال كما في الكثير غيره من المجالات لا يقلّ عدد « اللعلاّت » عن عدد « اللماذاءات » . وهذا ما يدعو إلى الارتياح لأنّه يدل على أن علم الفلك، كالفيزياء النوويّة لم يستنفد بعد كلّ إمكاناته . وبعد وصولنا إلى الصفحات الأخيرة من هذا الكتاب لا يسعنا إلا أن نبدي عجبنا أمام العلاقة التي أوصلتنا إليها : علاقة اللامتناهي في الكبر باللامتناهي في الصغر، وهي الصلة بين اللامتناهيين اللذين أشار اليهما بسكال والتي تؤمّن لنا الآن وسيلة تفسير أحدهما عن طريق الآخر .

لقد وصلت معرفتنا بالكون إلى درجة لم يكن السيّد دوران حتّى ولا هنري بوانكاره ليجروُا على أن يحلما بها . لكنها ما تزال تثير المشكلة ذاتها وهي مشكلة يتباعد حلّها كلما تقدّم العلم : ما معنى هذا الكون ؟ أهل يطابق شيئاً مجهولاً قد يكون كوناً أكبر أو عملاقاً أكبر ؟ أليس هو، كما يقول الفلكيّ الشاعر بيير سوليه في الواقع سوى ظاهرة باهرة وعابرة، وليست المجرّات المنتثرة في الفضاء سوى شرارات تتطاير تحت مطرقة حدّاد ثمّ لا تلبث أن تتلاشى ؟

فهرس

صفحة

صدر حتى الآن

في مجموعة «ماذا أعرف» ؟ العربية

المطبعة البولسية — جونية
طبعة ثانية ١٩٧٩

La présente série de la Collection « Que Sais-je » a été réalisée grâce à l'appui des Sociétés suivantes :

AIR FRANCE

COMPAGNIE FRANÇAISE DES PÉTROLES

BANQUE NATIONALE DE PARIS

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE

ENTREPRISE DUMEZ

UNION DES BANQUES ARABES ET FRANÇAISES

et avec l'aide du

DÉPARTEMENT DES RELATIONS CULTURELLES

•

أسهمت في نشر هذه السلسلة من مجموعة « مـــاذا أعرف »

التالية

شركة الطيران الفرنسية

شركة الزيوت الفرنسية

مصرف باريس الوطني

الشركة العـــامة

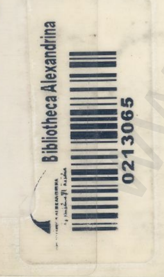
شركة دومـــيز

إتحاد المصارف العربية والفرنسية

وبمساعدة وزارة العلاقات الثقافية






Bibliotheca Alexandrina
0213065

